



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
EAP. DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS**

Diseño de la línea de impulsión para el afianzamiento hídrico para el proyecto Anama

MONOGRAFÍA

Para optar el Título de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Carlos Alberto Ruiz Torres

LIMA – PERÚ
2014

TABLA DE CONTENIDO

1.0	INTRODUCCIÓN.....	1
2.0	GENERALIDADES	2
2.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2.2	OBJETIVOS	4
2.2.1	OBJETIVO GENERAL.....	4
2.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3.0	MARCO TEÓRICO.....	5
3.1	LÍNEA DE IMPULSIÓN	5
3.1.1	DIÁMETRO DE LA TUBERÍA.....	5
3.1.2	VELOCIDAD MEDIA DE FLUJO.....	5
3.1.3	PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS	7
3.1.3.1	Pérdida de Carga por Fricción	7
3.1.3.2	Pérdidas de Carga Local	8
3.1.4	ALTURA DINÁMICA TOTAL	9
3.2	EQUIPO DE BOMBEO	9
3.2.1	POTENCIA DE IMPULSIÓN	9
3.2.1.1	Potencia de Consumo	10
3.2.1.2	Potencia Instalada	10
3.2.2	SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO.....	11
3.2.2.1	Curva característica red y bomba - punto óptimo de operación.....	11
3.2.2.2	Coeficiente de velocidad específica	13
3.2.2.3	Análisis de flujo transitorio - fenómeno de golpe de ariete	13
3.3	COSTOS.....	15
3.3.1	COSTO TOTAL DE TUBERÍA INSTALADA	15
3.3.2	COSTO TOTAL DEL EQUIPO DE BOMBEO INSTALADO	15
3.3.3	COSTO TOTAL DE OPERACIÓN	16
3.3.4	COSTO DE MANTENIMIENTO	16
3.3.5	COSTO TOTAL	16
3.4	ANÁLISIS DE LA TUBERÍA ENTERRADA Y DATOS DE APOYO	16
3.4.1	ANÁLISIS DE LA TUBERÍA ENTERRADA	16

3.4.2	DISEÑO DE DADOS DE APOYO	17
4.0	DISEÑO DE LA LINEA DE IMPULSIÓN	19
4.1	ALTERNATIVA 1 - 24 HORAS DE BOMBEO AL DÍA CON 10 l/s	20
4.1.1	LÍNEA DE IMPULSIÓN	20
4.1.1.1	Cálculo del diámetro de la Tubería	20
4.1.1.2	Cálculo de la velocidad Media de Flujo.....	21
4.1.1.3	Cálculo de pérdida de Carga en Tuberías.....	21
4.1.1.3.1	Cálculo de Pérdida de Carga por Fricción	21
4.1.1.3.2	Cálculos de pérdidas de Carga Local	22
4.1.1.3.3	Cálculo de la pérdida total	22
4.1.1.4	Cálculo de la Altura Dinámica Total	22
4.1.2	EQUIPO DE BOMBEO.....	23
4.1.2.1	Cálculo de la potencia	23
4.1.2.1.1	Cálculo de la potencia de Consumo	23
4.1.2.1.2	Cálculo de la potencia Instalada	23
4.1.3	COSTOS.....	23
4.1.3.1	Cálculo del costo total de tubería instalada.....	23
4.1.3.2	Cálculo del costo total del equipo de bombeo instalado	24
4.1.3.3	Cálculo del costo total de Operación	24
4.1.3.4	Cálculo del costo de Mantenimiento	24
4.1.3.5	Cálculo del costo total.....	24
4.2	ALTERNATIVA 2 - 12 HORAS DE BOMBEO AL DÍA PARA 20 L/S	25
4.2.1	LÍNEA DE IMPULSIÓN	25
4.2.1.1	Cálculo del diámetro de la Tubería	25
4.2.1.2	Cálculo de la velocidad Media de Flujo.....	26
4.2.1.3	Cálculo de pérdida de Carga en Tuberías.....	26
4.2.1.3.1	Cálculo de Pérdida de Carga por Fricción	26
4.2.1.3.2	Cálculos de pérdidas de Carga Local	26
4.2.1.3.3	Cálculo de la pérdida total	27
4.2.1.4	Cálculo de la Altura Dinámica Total	27
4.2.2	EQUIPO DE BOMBEO.....	27
4.2.2.1	Cálculo de la potencia	27

4.2.2.1.1	Cálculo de la potencia de Consumo	27
4.2.2.1.2	Cálculo de la potencia Instalada	28
4.2.3	COSTOS.....	28
4.2.3.1	Cálculo del costo total de tubería instalada.....	28
4.2.3.2	Cálculo del costo total del equipo de bombeo instalado	28
4.2.3.3	Cálculo del costo total de Operación	29
4.2.3.4	Cálculo del costo de Mantenimiento	29
4.2.3.5	Cálculo del costo total.....	29
4.3	ALTERNATIVA 3 - 08 HORAS DE BOMBEO AL DÍA PARA 30 L/S	29
4.3.1	LÍNEA DE IMPULSIÓN	29
4.3.1.1	Cálculo del diámetro de la Tubería	29
4.3.1.2	Cálculo de la velocidad Media de Flujo.....	30
4.3.1.3	Cálculo de pérdida de Carga en Tuberías.....	30
4.3.1.3.1	Cálculo de Pérdida de Carga por Fricción	31
4.3.1.3.2	Cálculos de pérdidas de Carga Local	31
4.3.1.3.3	Cálculo de la pérdida total	31
4.3.1.4	Cálculo de la Altura Dinámica Total	32
4.3.2	EQUIPO DE BOMBEO.....	32
4.3.2.1	Cálculo de la potencia	32
4.3.2.1.1	Cálculo de la potencia de Consumo	32
4.3.2.1.2	Cálculo de la potencia Instalada	32
4.3.3	COSTOS.....	33
4.3.3.1	Cálculo del costo total de tubería instalada.....	33
4.3.3.2	Cálculo del costo total del equipo de bombeo instalado	33
4.3.3.3	Cálculo del costo total de Operación	33
4.3.3.4	Cálculo del costo de Mantenimiento	33
4.3.3.5	Cálculo del costo total.....	34
4.4	SELECCION DE LA ALTERNATIVA	34
4.5	EQUIPO DE BOMBEO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	36
4.6	ANÁLISIS DE LA TUBERÍA ENTERRADA Y DATOS DE APOYOS PARA LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	38
4.6.1	ANÁLISIS DE LA TUBERÍA ENTERRADA	38

4.6.2	DISEÑO DE DADOS DE APOYO (depende del perfil)	39
4.6.2.1	Cambio de dirección Horizontal y vertical (Codo 45°)	39
5.0	CONCLUSIONES	42
6.0	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
	ANEXOS.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Esquema hidráulico.....	3
Figura N° 3.1: Detalle apoyo	19
Figura N° 4.1: Curva Característica de la Bomba seleccionada	37
Figura N° 4.2: Detalle apoyo	41

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 3.1: Dimensiones de tuberías HDPE norma DIN 8074 (Tensión de diseño 50 Kgf/cm ²)	6
Cuadro N° 3.2: Valores de coeficiente de Hazen y Williams para distintas tuberías	8
Cuadro N° 3.3: Coeficientes de pérdida de carga K para singularidades	9
Cuadro N° 4.1: <i>Cuadro de alternativas</i>	20
Cuadro N° 4.2: Valores de coeficiente local para accesorio Alternativa 1	22
Cuadro N° 4.3: Valores de coeficiente local para accesorio Alternativa 2	27
Cuadro N° 4.4: Valores de coeficiente local para accesorio Alternativa 3	31
Cuadro N° 4.5: Valores Altura-Gasto de turbina vertical seleccionada.....	34
Cuadro N° 4.6: Características de la bomba y el motor	36
Cuadro N° 4.7: Valores Altura-Gasto de turbina vertical seleccionada.....	37
Cuadro N° 5.1: Resultados del diseño para cada alternativa	42
Cuadro N° 5.2: Resultados de los costos para cada alternativa	42
Cuadro N° 5.3: Características de la bomba y el motor.....	43



1.0 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo surge de la necesidad del abastecimiento del recurso Hídrico por parte del proyecto minero Anama, que se encuentra en los parajes de los cerros Japutani – Chicorone, del distrito de Huaquirca, provincia de Antabamba, departamento de Apurímac a una altitud promedio de 4700 msnm.

El aprovechamiento del recurso hídrico será desde el embalse de la Presa proyectada en la quebrada Llancopampa hacia un reservorio ubicado en la parte alta de la quebrada, es así que se plantea el diseño de una línea de impulsión y la selección de un adecuado equipo de bombeo.

En la presente monografía técnica se detalla el procedimiento y el diseño de la línea de impulsión y el sistema de bombeo, para lo cual se analizó tres alternativas de diseño considerando el volumen de requerimiento constante, mediante este análisis se pretende obtener la mejor opción técnica – económica que permita definir el tipo, diámetro y clase de tubería, así como el equipo de bombeo que genere el menor costo de operación y mantenimiento posible durante la duración del sistema.

Además, en la alternativa seleccionada se realizó el análisis de carga de relleno que soporta la tubería y el diseño propiamente de los bloques de anclaje que se requiere para la estabilidad de la línea cuando se realice su instalación.



2.0 GENERALIDADES

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente trabajo está referido al sistema de suministro del abastecimiento de agua que forma parte del estudio definitivo de “Aprovechamiento Hídrico para el proyecto minero Anama”, el cual plantea la construcción de una Presa de tierra en la quebrada Llancopampa que almacenará 0.23 MMC para satisfacer las necesidades del proyecto, a su vez, se proyecta un reservorio de 900 m³ de capacidad de almacenamiento.

Que finalmente será llevado a través de una línea de conducción para el consumo poblacional de la unidad minera.

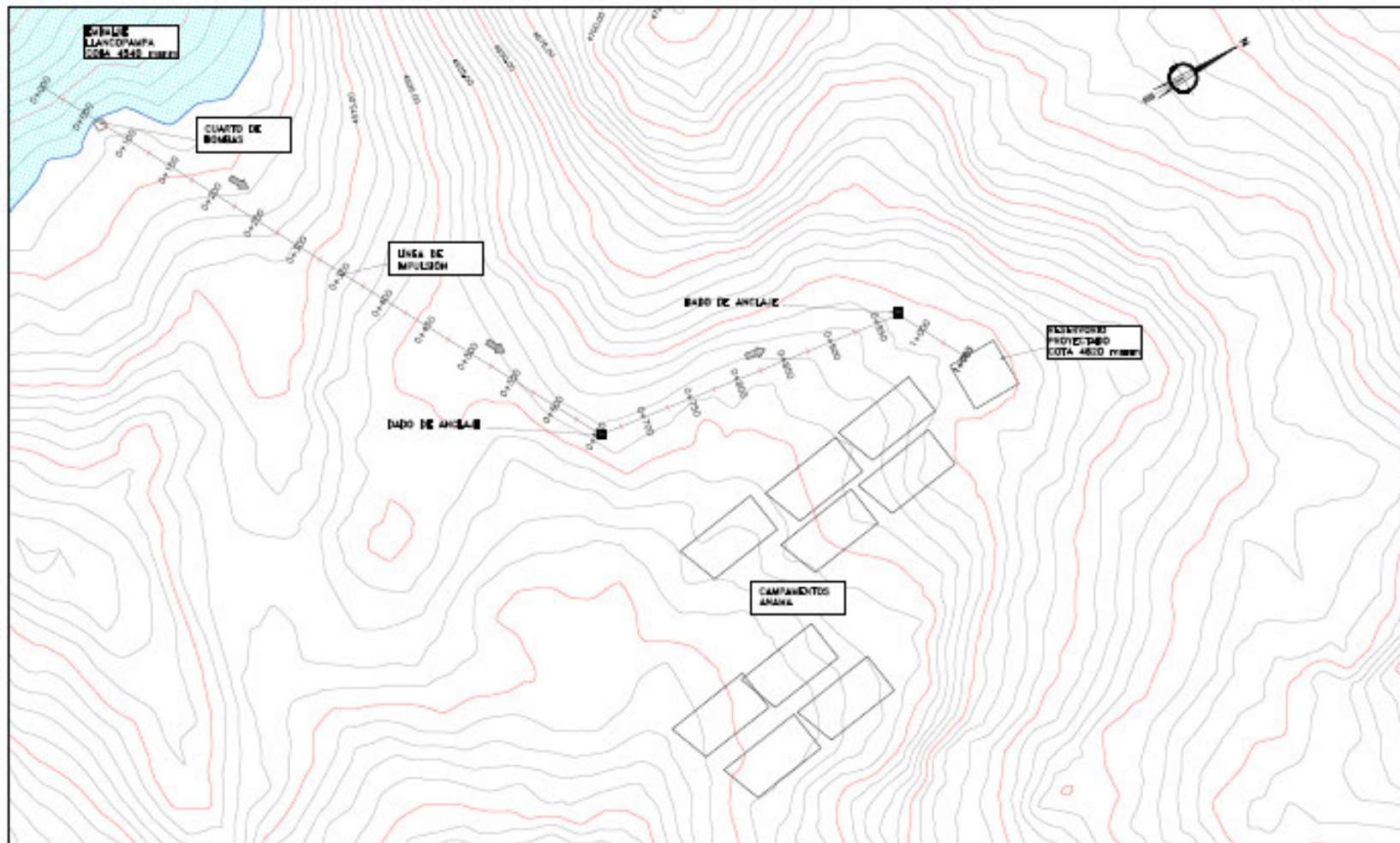
La diferencia de cotas entre el Reservorio y el embalse Llancopampa es aproximadamente 80 m, por tanto surge la necesidad de utilizar una línea de impulsión como medio de transporte del agua.

Según los estudios realizados, el requerimiento de la mina es de 864 m³/día, por tanto se plantean 3 alternativas de diseño considerando como constante el volumen a trasladar y variable al caudal de bombeo, éstas son: 10, 20 y 30 l/s con un funcionamiento de 24, 12 y 8 horas diarias respectivamente.

La variación que se analiza en cada alternativa tiene implicancia en los diámetros de tubería seleccionados, pérdidas totales y potencia de las bombas para cada caso, por consecuencia los costos para cada alternativa son distintos.

La siguiente figura muestra el esquema Hidráulico.

Figura N° 2.1: Esquema hidráulico



Fuente: Elaboración propia



2.2 OBJETIVOS

2.2.1 OBJETIVO GENERAL

- “Abastecimiento de agua para consumo humano, con lo que se mejora la calidad de vida poblacional de la unidad minera Anama”

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseño de la línea de impulsión y sistema de bombeo en tres alternativas.
- Determinar la alternativa de diseño óptimo bajo las consideraciones de costos de instalación, operación y mantenimiento.
- Determinar las cargas que afecten a los tramos de la tubería enterrada para asegurar su integridad estructural para la alternativa seleccionada

3.0 MARCO TEÓRICO

3.1 LÍNEA DE IMPULSIÓN

Es un sistema por bombeo, en donde la tubería que conduce el agua lo hace desde una cota inferior hasta una cota superior.

3.1.1 DIÁMETRO DE LA TUBERÍA

Un primer paso en la determinación del diseño de la línea de impulsión es la elección del diámetro de la tubería, para esto se utiliza una formula empírica conocida como la fórmula de Bresse para bombeos discontinuos:

$$D = 0.5873N^{0.25}\sqrt{Q_b} \quad \dots (1)$$

La cual está basada en los siguientes parámetros:

D: Diámetro interior aproximado (m).

N: Número de horas de bombeo al día.

Q_b : Caudal de bombeo obtenido de la demanda horaria por persona, del análisis poblacional y del número de horas de bombeo por día en (m³/s).

3.1.2 VELOCIDAD MEDIA DE FLUJO

Establecido el diámetro de diseño, si este no es comercial se determina la velocidad media del flujo en la tubería escogiendo para esto el diámetro inmediato superior comercial y utilizando la ecuación de continuidad tenemos:

$$V = \frac{4Q_b}{\pi D_c^2} \quad \dots (2)$$

Dónde:

D_c : Diámetro interior comercial de la sección transversal de la tubería (m).

Q_b : Caudal de bombeo igual al caudal de diseño (m³/s).

Si la velocidad no se encuentra dentro de los rangos permitidos para líneas de impulsión ($1.2 \text{ m/s} < V < 2 \text{ m/s}$) que son definidos en la sección de criterios y



parámetros de diseño, el diámetro se cambia a uno en el cual se cumpla estas exigencias.

Cuadro N° 3.1: Dimensiones de tuberías HDPE norma DIN 8074 (Tensión de diseño 50 Kgf/cm²)

Diámetro nominal D	Diámetro Nominal equivalente	RELACION DIMENSIONAL ESTANDAR SDR											
		SDR 41		SDR 33		SDR 26		SDR 17.6		SDR 11		SDR 7.4	
		PRESION NOMINAL PN											
		PN 2.5		PN 3.2		PN 4		PN 6		PN 10		PN 16	
		Espesor	Peso	Espesor	Peso	Espesor	Peso	Espesor	Peso	Espesor	Peso	Espesor	Peso
		mínimo	medio	mínimo	medio	mínimo	medio	mínimo	medio	mínimo	medio	mínimo	medio
mm	pulgadas	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m
16	3/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	0.1
20	1/2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	0.11	2.8	0.16
25	3/4	-	-	-	-	-	-	-	-	2.3	0.17	3.5	0.24
32	1	-	-	-	-	-	-	1.8	0.18	2.9	0.27	4.4	0.39
40	1 1/4	-	-	-	-	1.8	0.23	2.3	0.29	3.7	0.43	5.5	0.61
50	1 1/2	-	-	1.8	0.29	2	0.32	2.9	0.45	4.6	0.67	6.9	0.95
63	2	1.8	0.37	2	0.4	2.5	0.5	3.6	0.7	5.8	1.06	8.6	1.49
75	2 1/2	1.9	0.46	2.3	0.56	2.9	0.68	4.3	0.99	6.8	1.48	10.3	2.12
90	3	2.2	0.65	2.8	0.8	3.5	0.99	5.1	1.4	8.2	2.14	12.3	3.03
110	4	2.7	0.95	3.4	1.19	4.2	1.45	6.3	2.1	10	3.18	15.1	4.54
125	5	3.1	1.25	3.9	1.53	4.8	1.86	7.1	2.69	11.4	4.12	17.1	5.84
140	5 1/2	3.5	1.56	4.3	1.9	5.4	2.35	8	3.37	12.7	5.13	19.2	7.33
160	6	4	2.02	4.9	2.45	6.2	3.07	9.1	4.4	14.6	6.74	21.9	9.54
180	6	4.4	2.51	5.5	3.1	6.9	3.83	10.2	5.53	16.4	8.51	24.6	12.06
200	8	4.9	3.08	6.2	3.88	7.7	4.74	11.4	6.85	18.2	10.49	27.4	14.91
225	8	5.5	3.9	6.9	4.82	8.6	5.95	12.8	8.64	20.5	13.28	30.8	18.85
250	10	6.2	4.88	7.7	5.98	9.6	7.37	14.2	10.66	22.7	16.33	34.2	23.26
280	10	6.9	6.04	8.6	7.47	10.7	9.19	15.9	13.33	25.4	20.46	38.3	29.17
315	12	7.7	7.58	9.7	9.46	12.1	11.7	17.9	16.87	28.6	25.9	43.1	36.92
355	14	8.7	9.64	10.9	11.96	13.6	14.78	20.1	21.38	32.2	32.86	48.5	46.8
400	16	9.8	12.21	12.3	15.22	15.3	18.74	22.7	27.15	36.3	41.72	54.7	59.44
450	18	11	15.39	13.8	19.16	17.2	23.68	25.5	34.3	40.9	52.81	61.5	75.16
500	20	12.3	19.14	15.3	23.61	19.1	29.2	28.4	42.42	45.4	65.14	68.3	92.73
560	22	13.7	23.82	17.2	29.7	21.4	36.58	31.7	52.98	50.8	81.58	-	-
630	24	15.4	30.12	19.3	37.45	24.1	46.34	35.7	67.09	57.2	103.33	-	-
710	28	17.4	38.31	21.8	47.58	27.2	58.88	40.2	85.14	64.5	131.22	-	-
800	32	19.6	48.55	24.5	60.23	30.6	74.53	45.3	108.02	-	-	-	-
900	36	22	61.2	27.6	76.25	34.4	94.21	51	136.63	-	-	-	-
1000	40	24.5	75.74	30.6	93.88	38.2	116.2	56.7	168.74	-	-	-	-
1200	48	29.4	109	36.7	135.02	45.9	167.33	68	242.72	-	-	-	-
1400	54	34.4	148.65	42.9	183.93	53.5	227.47	-	-	-	-	-	-
1600	64	39.2	193.51	49	239.95	61.2	297.28	-	-	-	-	-	-

Fuente: Tuberías HDPE - Duratec

3.1.3 PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS

Las pérdidas de carga que se presentan en las líneas de Impulsión se dividen básicamente en dos tipos: pérdidas de carga por fricción y pérdida de carga local.

3.1.3.1 Pérdida de Carga por Fricción

Obtenido la velocidad de flujo se procede al cálculo de la pérdida de carga por fricción en la línea utilizando para esto la ecuación de Hazen-Williams expresada como sigue:

$$Q_b = 0.2785 \cdot C \cdot D_c^{2.63} S^{0.54} \quad \dots (3)$$

$$S = \left(\frac{Q_b}{0.2785 \cdot C \cdot D_c^{2.63}} \right)^{1.85} \quad \dots (4)$$

$$H_f = S \times L \quad \dots (5)$$

Dónde:

Q_b : Caudal de bombeo (m³/s).

C: Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams (ver tabla N° 3.2)

S: Pendiente de la línea de energía o gradiente Hidráulico (m/m).

H_f : Pérdida de carga por fricción (m)

L: Longitud de tubería con diámetro cte. (m).

Estas ecuaciones que nos permiten determinar la velocidad media y la pérdida de carga por fricción nos dan la posibilidad de identificar, para un diámetro determinado con una clase de tubería seleccionada, si estamos dentro de los intervalos establecidos según los criterios y parámetros de diseño estandarizados para flujo en tuberías. Estos criterios están relacionados a la velocidad del flujo y a la capacidad de carga que la tubería puede soportar incluyendo la sobrepresión que resulta de un fenómeno denominado golpe de ariete el cual está condicionado al tiempo de cierre de las válvulas de control de flujo a la salida de la bomba por corte súbito de la energía. Lo anterior nos sirve como un instrumento de decisión para descartar o confirmar que el diámetro determinado para el caudal de bombeo sea el adecuado según los criterios de diseño para las condiciones de trabajo optimas en la tubería evitando que se originen pérdidas de carga superiores a las que se requerirían para la conducción del flujo.

Cuadro N° 3.2: Valores de coeficiente de Hazen y Williams para distintas tuberías

Descripción de la tubería	C
Tuberías rectas muy lisas	140
Tuberías de fundición lisas y nuevas	130
Tuberías de fundición usadas y de acero roblonado nuevas	110
Tuberías de alcantarillado vitrificadas	110
Tuberías de fundición con algunos años de servicio	100
Tuberías de fundición en malas condiciones	80
Tuberías de concreto	120
Tuberías de plástico	150
Tuberías de asbesto - cemento	140

Fuente: Mecánica de Fluidos e Hidráulica Shaum (Ronald V. Giles)

3.1.3.2 Pérdidas de Carga Local

Además de la pérdida de carga por fricción también se presenta en la línea de impulsión pérdidas de carga denominadas locales producto del paso de flujo a través de los accesorios instalados en la línea y/o al cambio de dirección y/o sección en sus tramos.

La determinación de las pérdidas locales es evaluada, sólo en el caso de ser necesarias por la cantidad de accesorios o velocidades altas en la línea.

Para esta evaluación se utiliza el teorema de Borde-Belanger.

$$H_i = \sum k \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \dots (6)$$

Donde k depende del accesorio por donde transita el flujo (codos, válvulas, entradas, salidas, reducciones, tees, yes, uniones, etc.)

Cuadro N° 3.3: Coeficientes de pérdida de carga K para singularidades

Accesorio	Coeficiente K
Codo 90°	0.9
Válvula de pie	2.5
Llave de compuerta abierta 50%	5.6
Llave de compuerta abierta 75%	1.15
Llave de compuerta abierta 100%	0.19
Válvula de globo abierta	10
Válvula de no retorno	2.5
Contracción brusca	0.42
Expansión brusca	0.92
Tee	1.8
Codo 45°	0.42
Codo cuadrado	1.8

Fuente: Hidráulica de tuberías

3.1.4 ALTURA DINÁMICA TOTAL

Se define como la suma de la Altura Estática, que es la diferencia de cotas que existe entre el inicio y el final del bombeo, y las pérdidas totales.

$$\text{Altura dinámica total (HDT)} = \text{Altura estática} + \text{Pérdidas totales} \dots (7)$$

3.2 EQUIPO DE BOMBEO

3.2.1 POTENCIA DE IMPULSIÓN

Establecidas las pérdidas se procede a calcular la potencia necesaria para impulsar la columna de agua desde el embalse al reservorio.

Para esto es necesario conocer ciertos parámetros como:

- **Caudal de bombeo (Q_b):** Es aquel caudal requerido para abastecer al reservorio y que es producido por el embalse con un cierto descenso en el nivel de agua respecto del nivel estático cuando se realiza la extracción del agua de la presa. A este nivel de descenso se le denomina nivel dinámico y se obtiene teniendo en consideración las épocas de máximas avenidas y de estiaje, dato que ayuda considerablemente a la selección de la bomba dicho sea de paso.
- **Altura de impulsión:** Se obtiene por la diferencia de niveles entre la llegada de las aguas en el reservorio y el eje de la bomba más las pérdidas de carga (fricción y locales) de dicho tramo.

- **Altura de succión:** Se obtiene por la diferencia de niveles entre el eje de la bomba y el nivel mínimo del agua en la fuente (nivel dinámico del pozo) más las pérdidas de carga del tramo (fricción y locales). La altura de succión está condicionada por el valor de la presión barométrica en el lugar de instalación del equipo y de la presión que se origina en la entrada del impulsor el cual debe ser mayor a la presión de evaporación del agua para que no se produzca el fenómeno de cavitación, que causa en los alabes del impulsor impactos que pueden provocar su destrucción en las zonas donde ello ocurre. Las pérdidas de carga por fricción y locales son fundamentales en la determinación de la altura dinámica total para la obtención de la potencia que se empleará en el equipo de bombeo.

3.2.1.1 Potencia de Consumo

La Energía que requiere la bomba para su normal funcionamiento es conocida como Potencia de Consumo (P_c) y es calculada por la expresión:

$$P_c(HP) = \frac{100 \cdot Q_b \cdot HDT}{75 \cdot \eta_b} \quad \dots (8)$$

Dónde:

HDT: Altura dinámica total (m).

Q_b : Caudal de Bombeo (l/s).

η_b : Eficiencia de la bomba (%).

3.2.1.2 Potencia Instalada

El motor que se acopla a la bomba para su funcionamiento necesita una energía denominada potencia Instalada (P_i) y es calculada por la expresión:

$$P_i(HP) = \frac{100 \cdot Q_b \cdot HDT}{75 \cdot \eta_c} \quad \dots (9)$$

Dónde:

η_c : Eficiencia del sistema en conjunto bomba-motor (%).

$$\eta_c = \eta_b \cdot \eta_m \quad \dots (10)$$

Eficiencia de la bomba obtenida por la transformación de la energía mecánica de rotación en energía potencial de fluido y la eficiencia del motor obtenida de la

transformación de la energía eléctrica en energía mecánica de rotación componen la eficiencia del sistema de conjunto que describe el grado de aprovechamiento energético que tiene un sistema al suministrarle una energía determinada, y como este llega a convertirla en energía útil ganada por el fluido.

3.2.2 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO

3.2.2.1 Curva característica red y bomba - punto óptimo de operación

De aquel análisis de costos para varias alternativas con diámetros cercanos al calculado con la fórmula de Bresse (diámetros comerciales) se determina el diámetro correspondiente al menor costo, es decir diámetro económico con lo cual podremos luego construir la curva característica de la red compuesta por la línea de impulsión y succión, y confrontarla con la curvas características del equipo de bombeo escogido en el desarrollo del análisis de sensibilidad económica para el diámetro económico, y así determinar el punto óptimo de operación del sistema (eficiencia > 50%).

La curva característica de la red está compuesta por diferentes alturas H_{Red} que puede alcanzar el agua a diferentes caudales. Esta se rige mediante la ecuación:

$$H_{Red} = H_{Geo} + H_{Res} + H_{Pérdidas\ Fricción} + H_{Pérdidas\ Locales} \dots (11)$$

Donde $H_{Pérdidas\ Fricción}$ y $H_{Pérdidas\ Locales}$ representan las pérdidas de carga por fricción y local en la red respectivamente.

$$S = \left(\frac{Q_b}{0.2785 \cdot C \cdot D_c^{2.63}} \right)^{1.85}$$

$$H_{Pérdidas\ Fricción} = H_f = S \cdot L \quad \text{y} \quad H_{Pérdidas\ Locales} = H_i = \sum k \cdot \frac{V^2}{2g}$$

La ecuación de la curva característica de la red puede ser finalmente expresada en función de los caudales (Q) en m³/s:

$$H_{Red} = H_{Geo} + H_{Res} + K_{Fricción} \cdot Q^{1.85} + K_{Local} \cdot Q^2 \dots (12)$$

$$K_{Fricción} = \frac{L}{[0.2785 \cdot C \cdot D^{2.63}]^{1.85}} \quad \text{y} \quad K_{Local} = \frac{16 \cdot \sum k}{2g\pi^2 D^4} \dots (13)$$



En donde:

C: Coeficiente de Rugosidad de Hazen-Williams para tuberías el cual depende del tipo de tubería a utilizar.

L: Longitud de la tubería (m).

D: Diámetro interior de la tubería (m).

K: Coeficiente de pérdida local en accesorios.

H_{Geo} : Carga estática o Altura geométrica (m).

H_{Res} : Carga o Altura de reserva (m).

Las curvas características de la electrobomba son proporcionadas por el fabricante o proveedor de acuerdo al tipo de aplicación que se le dé al equipo.

Confrontando estas curvas se obtiene un punto en donde ambas se interceptan, es decir el caudal Q reemplazado en ambas ecuaciones de curvas nos da un único valor de H , a este punto se le denomina punto óptimo de operación.

Como la curva característica de la red puede interceptarse con más de una curva característica de equipos de bombeo similares producto de varias pruebas con diferentes diámetros del impulsor, tendremos un punto óptimo de operación para cada una de estas curvas.

El punto óptimo de operación debe de ser aquel que caiga en la zona de rendimiento máximo y donde Q y HDT del punto óptimo sean mayores o iguales al Q y HDT de diseño. Además la Potencia de consumo de la bomba (P_c) seleccionada debe ser menor o igual a la potencia de consumo calculada en el análisis económico.

Este punto óptimo de operación determinará el diámetro que debe de tener los impulsores, la altura de succión neta positiva y la potencia optima a las revoluciones del equipo bomba-motor.

Con esto ya se tendría una solución de mínimo costo y alto rendimiento operativo que cumplan con todas las condiciones de diseño para asegurar el abastecimiento desde el pozo al reservorio.

3.2.2.2 Coeficiente de velocidad específica

El desempeño del equipo de bombeo (bomba-motor), puede ser obtenido mediante un parámetro conocido como el coeficiente de velocidad específica dado por la siguiente expresión:

$$N_s = \frac{3.65 \times N \times \sqrt{Q_b}}{H^{3/4}}$$

Dónde:

N: Revoluciones del equipo de bombeo

H: Altura dinámica total.

Q_b: Caudal de bombeo.

El coeficiente de velocidad específica (N_s) debe caer en la zona de buen rendimiento que se muestra en las gráficas proporcionada por el fabricante.

Si N_s cae a la izquierda de esta zona se debe elegir otro equipo con revoluciones mayores para aumentar su rendimiento, pero si el equipo elegido presenta una velocidad rotacional de 3600 rpm la posibilidad de aumentar ésta reduciría en un aumento considerable de costos, tamaño y peso que tal vez no justificaría el aumento en el rendimiento, por tal motivo debe de mantenerse el equipo elegido ya que aunque presenta un rendimiento inferior al esperado cumple con las condiciones de operación exigidas.

3.2.2.3 Análisis de flujo transitorio - fenómeno de golpe de ariete

Es un fenómeno que ocurre cuando se interrumpe súbitamente la energía que propulsa la columna de agua en la línea de impulsión o por el cierre rápido de la válvula de regulación de flujo a la salida de la bomba ocasionando una presión interna a todo lo largo de la tubería, la cual es recibida en la paredes de la tubería y los accesorios como un impacto.

Al cerrar instantáneamente o parar el equipo de bombeo, la compresión del agua y expansión de la tubería comienza en el punto de cierre, transmitiéndose hacia arriba a una velocidad determinada por la expresión:

$$a = \sqrt{\frac{1}{\rho \times \left(\frac{1}{\varepsilon} + \frac{d}{e \cdot E} \right)}}$$

Dónde:



a: Velocidad de propagación de la onda (m/s).

ρ : Densidad del líquido (kg/m³).

d : Diámetro interior de la tubería (m).

e : Espesor de la tubería (m).

E : Modulo de elasticidad del agua (2.00x10⁹ N/m²).

E: Modulo de elasticidad de tracción del material que compone la tubería (N/m²).

El tiempo de propagación de la onda (ida y vuelta) es conocido como tiempo crítico y se expresa como:

$$T_c = \frac{2L}{a} \quad \dots (14)$$

Dónde:

T_c: Tiempo crítico o de propagación de la onda en cierre instantáneo (s).

L : Longitud de la tubería por donde transita la onda (m).

Si el tiempo de cierre de la válvula es menor al tiempo crítico entonces la presión irá aumentando hasta el cierre completo de la válvula y dicho valor será entonces considerado como el de un tiempo de cierre instantáneo

En el diseño de la línea de impulsión se debe considerar la sobrepresión que se genera por efecto del golpe de ariete como medida de seguridad por una posible desconexión del fluido eléctrico que alimenta al motor de la bomba. Por eso es fundamental el estudio de este fenómeno para poder determinar la clase de tubería a utilizar que pueda soportar esta sobrepresión sin mayores inconvenientes, sin la necesidad de instalar accesorios de seguridad como válvulas especiales que contrarresten el impacto del golpe de ariete elevando por consiguiente el costo total de inversión.

La sobrepresión por este efecto se calcula para un cierre instantáneo que genera una presión mayor que la originada por un tiempo de cierre gradual, es decir un tiempo mayor al tiempo crítico regulado por la válvula de control y se expresa como:

$$\Delta H_a = \frac{V \cdot a}{g} \quad \dots (15)$$

Donde:

ΔH_a : Carga por sobrepresión (m.c.a).

V: Velocidad del flujo en la tubería (m/s).

g : Constante de aceleración de gravedad (9.81 m/s²).

Entonces con la determinación de la sobrepresión por efecto del golpe de ariete la carga que debería soportar la línea en su punto más bajo estará dado por la siguiente expresión:

$$P_{max} = \Delta H + \Delta H_a \quad \dots (16)$$

Dónde:

P_{max} : Presión máxima en el punto más bajo de la tubería (m.c.a).

ΔH : Diferencia de nivel entre el punto donde llega el agua (reservorio) y el punto más bajo de la tubería igual a la carga estática en ese punto (m.c.a).

ΔH_a : Carga por sobrepresión por efecto del golpe de ariete (m.c.a).

La tubería entonces debe ser elegida considerando el espesor y el material del que está compuesta para soportar dicha presión máxima con el diámetro calculado.

3.3 COSTOS

Al ser el diseño de la línea de impulsión un problema básicamente de costos relativos al diámetro de la tubería, calidad y potencia del sistema de bombeo es necesario el análisis económico de varias alternativas de diseño para resolverlas y escoger la que nos proporcione el menor costo de total.

Estos costos totales están compuestos por varios tipos de costos en el sistema:

3.3.1 COSTO TOTAL DE TUBERÍA INSTALADA

Comprende la adquisición, transporte, instalación y pruebas, se calcula con la expresión:

$$\text{Costo Total Tub.Instalada} = \text{Costo Tub.} \times \text{Longitud total tub} \dots (17)$$

3.3.2 COSTO TOTAL DEL EQUIPO DE BOMBEO INSTALADO

Comprende la adquisición, transporte e instalación, se calcula utilizando los coeficientes de costos del equipo (K, a) y su potencia instalada (HP).

$$\text{Costo Total Equipo Instalado}(S/.) = Kx(P_i)^a \quad \dots (18)$$



3.3.3 COSTO TOTAL DE OPERACIÓN

Este ítem se refiere a la Energía consumida en toda su vida de operación, se calcula de acuerdo a la potencia instalada y al costo de energía por KW-h/año.

$$\text{Costo Total Operacion} = \frac{\text{Horas de Bombeo}}{\text{total}} \times P_i(\text{KW}) \times \text{Energia} \dots (19)$$

3.3.4 COSTO DE MANTENIMIENTO

Se refiere al costo probable del mantenimiento de la bomba de acuerdo al número de horas que trabaja a diario, si bien es cierto el costo del mantenimiento de una bomba depende de muchos factores y en forma proyectada es difícil precisar algún valor.

De las recomendaciones realizadas por empresas dedicadas al rubro del mantenimiento de equipos de bombeo, se deduce que se realizará luego de 10 000 horas trabajadas y su costo llegará a ser aproximadamente el 30% del valor de la bomba.

$$\text{Costo Mantenimiento} = 30\% \text{ Precio Inicial} \dots (20)$$

3.3.5 COSTO TOTAL

El costo total de la línea de impulsión y el equipo de bombeo se calcula con la expresión:

$$CT = \text{Costo Total Tub. Instalada} + \text{Costo equipo bombeo} \\ + \text{Costo Total Operacion} + \text{Costo Mantenimiento} \dots (21)$$

3.4 ANÁLISIS DE LA TUBERÍA ENTERRADA Y DATOS DE APOYO

3.4.1 ANÁLISIS DE LA TUBERÍA ENTERRADA

En el diseño de las tuberías flexibles enterradas es muy importante la carga que soportara la tubería debido al relleno que se coloca sobre la clave del tubo.

Esta carga no solo se distribuye al tubo sino que también hacia las paredes verticales de la zanja.

La carga de relleno que actúa sobre la tubería se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = \gamma \cdot HR + P_o \dots (22)$$



P: Presión debida al peso del suelo a la profundidad HR incluida la Presión por Carga Viva P_o . (Kg/m²)

(γ) : Peso específico del suelo (kg/m³).

HR: Profundidad del relleno sobre la corona del tubo (m).

Po: Carga viva por vehículo de eje simple (kg/m²).

La carga viva se considera en 957 kg/m² para un vehículo de eje simple que transita sobre el terreno del tendido de la tubería a la profundidad HR = 2.0 m.

Además la carga de relleno produce un esfuerzo de compresión en las paredes del tubo que se obtiene con la expresión:

$$\sigma_c = \frac{9.81 \cdot P \cdot D}{2.1000 \cdot A} \quad \dots (23)$$

Donde:

σ_c : Esfuerzo de compresión en la pared del tubo (kN/m²).

A: Área de sección de la pared del perfil por unidad de longitud (m²/m).

D: Diámetro de exterior de la tubería (m).

Este esfuerzo de compresión no debe sobrepasar el σ_{\max} de compresión en la tubería, por lo tanto el factor de seguridad al límite de este esfuerzo en la pared es:

$$\eta_{cru} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_c} > 2 \quad \dots (24)$$

3.4.2 DISEÑO DE DADOS DE APOYO

Básicamente está referido al diseño de los dados de apoyo para cada cambio de dirección (codos) que se presente en la línea de impulsión y en los accesorios como tees, yees, reducciones, válvulas, etc.

Para esto debemos calcular las fuerzas que intervienen predominantemente en dichos componentes siendo la fuerza resultante R en Kg debido al empuje por presión de agua (Presión estática más sobrepresión por golpe de ariete) las más significativa y que para fines prácticos se utiliza en el dimensionamiento del anclaje:

$$R = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \gamma \cdot H_p \cdot \sin \theta / 2}{2} \quad \dots (25)$$

$$H_p = 1.5 \cdot H \quad \dots (26)$$

Dónde:

D: Diámetro interior de la tubería (m).

(γ) : Peso específico del agua (kg/m³).

H_p: Carga de prueba hidráulica en el accesorio (m).

H: Carga nominal de trabajo en el accesorio (m).

θ : Ángulo de cambio en la dirección horizontal (°).

Luego con R calculamos el área de la superficie de contacto del dado de apoyo mediante la siguiente expresión:

$$A_B = \frac{R}{\sigma_{adm}} \quad \dots (27)$$

Dónde:

σ_{adm} : Tensión admisible del terreno que tiene contacto con el área de la base del bloque y que puede ser horizontal a la pared de la excavación, o verticalmente al fondo de la excavación según el cambio de dirección (kg/cm²).

A_B : Área de contacto del bloque con mayor capacidad de distribución del empuje transmitido al sistema dado-suelo (cm²).

Ya con el área calculada podemos asumir las dimensiones mínimas de la sección de contacto (LxW). La tercera dimensión (N) se obtiene de acuerdo al cambio de dirección horizontal o vertical de la superficie de contacto, ya que está condicionada al ancho de la zanja y/o al diámetro del tubo.

En forma práctica se puede determinar las dimensiones del bloque de anclaje vertical como una función del diámetro nominal del tubo (DN).

$$\begin{aligned} L &= W = 1.5x DN \\ N &= 1.2x DN \quad \dots (28) \end{aligned}$$

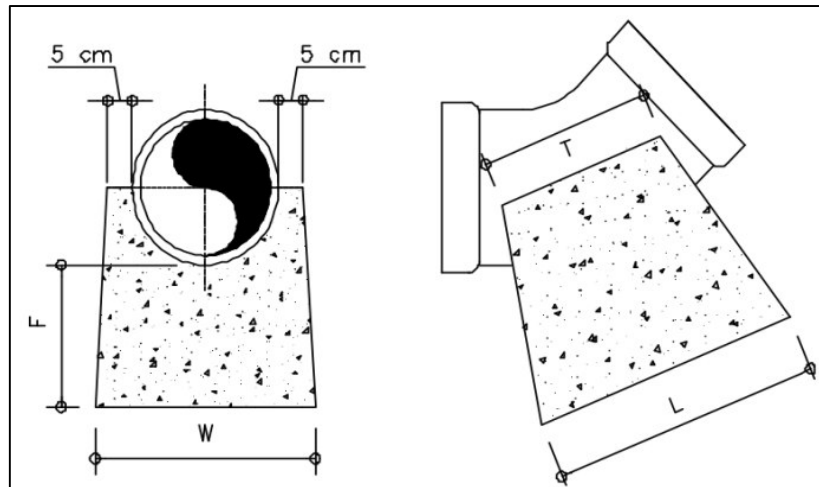
Debiéndose comprobarse posteriormente si se cumple la condición de mayor área efectiva:

$$A_{B-efectiva} = LxW > A_B \quad \dots (29)$$

Por último, el anclaje puede adoptar diversas formas de acuerdo al accesorio y al cambio de dirección, estando muchos de ellos normalizados para obras de abastecimiento de agua potable y alcantarillado.

La forma más común es la de un tronco piramidal que consta de 4 dimensiones características (L, W, T y F). Como se observa en la figura N° 3.1.

Figura N° 3.1: Detalle apoyo



Fuente: Estructuras hidráulicas

Las 2 primeras (L y W) son establecidas por las formulas descritas para el área de la base del bloque, mientras que las 2 últimas se obtienen en función del diámetro Nominal (DN) y la tercera dimensión (N).

$$T = (N - 0.2 \times DN) \quad \dots (30)$$

$$F = \left(N - \frac{DN}{2} \right) \quad \dots (31)$$

4.0 DISEÑO DE LA LINEA DE IMPULSIÓN

El diseño de la línea de impulsión se verá relacionado a la elección de tres alternativas de solución para conducir agua desde el embalse Llacopampa (cota 4540 msnm) hasta el reservorio proyectado (cota 4620 msnm).

Las alternativas se plantearán teniendo como constante el valor del volumen a conducir, esto quiere decir que se variará el caudal en la relación 10, 20 y 30 l/s

La metodología que se utilizará para realizar el diseño es la siguiente:

- Plantear las Alternativas de diseño para 10, 20 y 30 l/s.
- Diseño de la alternativa 1, caudal de 10 l/s y el bombeo funciona las 24 horas al día, cálculo de costos.
- Diseño de la alternativa 2, caudal de 20 l/s y el bombeo funciona las 12 horas al día, cálculo de costos.
- Diseño de la alternativa 3, caudal de 20 l/s y el bombeo funciona las 08 horas al día, cálculo de costos.

- Elección de la alternativa viable técnico - económico.
- Características del equipo de bombeo de la alternativa seleccionada.
- Diseño de dados de apoyo y análisis de la tubería enterrada para la alternativa seleccionada.

A continuación un pequeño cuadro:

Cuadro N° 4.1: Cuadro de alternativas

Alternativas	Q (l/s)	Tiempo de Operación (t) (horas)
1	10	24
2	20	12
3	30	8

Fuente: Elaboración propia

4.1 ALTERNATIVA 1 - 24 HORAS DE BOMBEO AL DÍA CON 10 l/s

Para esta alternativa se considera el funcionamiento de la bomba las 24 horas al día, eso quiere decir que el caudal de bombeo es 10 l/s para satisfacer el volumen requerido.

4.1.1 LÍNEA DE IMPULSIÓN

4.1.1.1 Cálculo del diámetro de la Tubería

Se aproximará el valor del diámetro de la tubería utilizando la fórmula de Bresse, ecuación (1)

$$D = 0.5873 N^{0.25} \sqrt{Q_b}$$

Dónde:

$$N = 24, \text{ Número de horas de bombeo al día}$$

$$Q_b = 0.01 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ Caudal de bombeo}$$

Desarrollando se obtiene:

$$D = 0.130 \text{ m}$$

El valor obtenido se aproxima hacia un valor comercial de diámetro de tubería teniendo en cuenta el tipo, diámetro nominal y diámetro interno, además



considerando que la velocidad del flujo se encuentre entre los límites permisibles recomendados.

Luego el valor del diámetro de tubería resulta:

$$D = 0.110 \text{ m} = 4''$$

El espesor de la tubería HDPE SDR 11, para el diámetro mencionado es (ver Cuadro N° 3.1):

$$e = 10 \text{ mm}$$

Por lo tanto el diámetro interno de la tubería resulta como:

$$D_c = 0.090 \text{ m}$$

4.1.1.2 Cálculo de la velocidad Media de Flujo

La velocidad del flujo se obtiene aplicando la ecuación de continuidad (expresión (2))

$$V = \frac{4Q_b}{\pi D_c^2}$$

Dónde:

$$Q_b = 0.01 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_c = 0.090 \text{ m}$$

Desarrollando se obtiene:

$$V = 1.57 \text{ m/s}$$

El valor de la velocidad se encuentra entre los límites recomendados, mayor a 1.2 m/s y menor a 2 m/s.

4.1.1.3 Cálculo de pérdida de Carga en Tuberías

4.1.1.3.1 Cálculo de Pérdida de Carga por Fricción

Estas pérdidas se calculan utilizando la ecuación de Hazen-Williams (expresiones (4) y (5))

$$S = \left(\frac{Q_b}{0.2785 \cdot C \cdot D_c^{2.63}} \right)^{1.85}$$
$$H_f = S \cdot L$$

Donde:

$$Q_b = 0.01 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = 140 \text{ (Tubería HDPE)}$$

$$D_c = 0.090 \text{ m}$$

$$L = 1000 \text{ m}$$

Desarrollando se obtiene:

$$S = 0.02374 \text{ m/m}$$

$$H_f = 23.74 \text{ m}$$

4.1.1.3.2 Cálculos de pérdidas de Carga Local

Según el Perfil de la línea de ha definido los siguientes accesorios con sus respectivos valores del coeficiente de pérdidas locales k , detallados en el Cuadro N°3.3 obtenidos de diversos manuales y textos especializados en hidráulica.

Cuadro N° 4.2: Valores de coeficiente local para accesorio Alternativa 1

ACCESORIO	Km(fac.Perd)	Cantidad	Perdida local
Válvula compuerta	0.20	1.00	0.20
Válvula check	2.50	2.00	5.00
Válvula de pie	4.00	1.00	4.00
Codo radio corto 90°	0.90	1.00	0.90
Codo gran radio 90°	0.60	5.00	3.00
Codo 45°	0.42	2.00	0.84
Total =			13.94

Fuente: Elaboración propia

Entonces, reemplazando los datos en la expresión (6) resulta:

$$H_i = \sum k \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$H_i = 1.76 \text{ m}$$

4.1.1.3.3 Cálculo de la pérdida total

La pérdida de carga total es igual a la suma de la pérdida por fricción y la pérdida de carga total, por lo tanto:

$$\text{Perdida total} = 25.5 \text{ m}$$

4.1.1.4 Cálculo de la Altura Dinámica Total

Utilizando la expresión (7)

$$\text{Altura dinámica total (HDT)} = \text{Altura estática} + \text{Pérdidas totales}$$

$$HDT = 105.50 \text{ m}$$

4.1.2 EQUIPO DE BOMBEO

4.1.2.1 Cálculo de la potencia

4.1.2.1.1 Cálculo de la potencia de Consumo

Energía entregada por la bomba se calculará con la expresión (8)

$$P_c(HP) = \frac{100 \cdot Q_b \cdot HDT}{75 \cdot \eta_b}$$

Donde:

$HDT = 105.5 \text{ m}$, *Altura dinámica total*

$Q_b = 10 \text{ l/s}$

$\eta_b = 75 \%$

Desarrollando se obtiene:

$$P_c = 13.87 \text{ HP}$$

4.1.2.1.2 Cálculo de la potencia Instalada

Es la energía entregada por la bomba se calculará con la expresión (9)

$$P_i(HP) = \frac{100 \cdot Q_b \cdot HDT}{75 \cdot \eta_c}$$

Donde:

$HDT = 105.5 \text{ m}$, *Altura dinámica total*

$Q_b = 10 \text{ l/s}$

$\eta_m = 75\%$ (eficiencia del motor)

$\eta_c = 56.2\%$

Desarrollando se obtiene:

$$P_i = 18.49 \text{ HP}$$

Haciendo referencia a esta potencia calculada, la bomba seleccionada será de acuerdo al punto de operación, según la marca se obtendrá la potencia real de consumo e instalada para dicha bomba, ver Anexo 1.1 - Alternativa 1, por lo tanto la potencia real es:

$$P_i = 20 \text{ HP}$$

4.1.3 COSTOS

4.1.3.1 Cálculo del costo total de tubería instalada



Utilizando la ecuación (17):

$$\text{Costo Total Tub. Instalada} = \text{Costo Tub.} \times \text{Longitud total tub}$$

Donde:

$$\text{Costo Tub.} = 7.70 \text{ \$/m (Tubería HDPE SDR 11 D = 4'')}$$

$$\text{Longitud total tub.} = 1000 \text{ m}$$

Desarrollando se obtiene:

$$\text{Costo Total Tub. Instalada} = \$ 7700$$

4.1.3.2 Cálculo del costo total del equipo de bombeo instalado

El costo que se menciona obedece a una cotización real para los datos proporcionados en el análisis (ver Anexo 1.1 – Alternativa 1)

$$\text{Costo equipo bombeo} = \$ 15\,184.96$$

4.1.3.3 Cálculo del costo total de Operación

Utilizando la ecuación (19):

$$\text{Costo Total Operacion} = \frac{\text{Horas de Bombeo}}{\text{total}} \times P_i(\text{KW}) \times \text{Energía}$$

Donde:

$$P_i(\text{KW}) = 20 \text{ HP} = 14.93 \text{ KW}$$

$$\text{Energía} = 0.20 \text{ \$/KW – hora}$$

Desarrollando se obtiene:

$$\text{Costo Total Operacion} = \$ 130\,746.26$$

4.1.3.4 Cálculo del costo de Mantenimiento

Según lo mencionado en el ítem 3.3.4 el mantenimiento se realizará después de 10 000 horas de operación, además se sabe que la mina tendrá una duración de 5 años, entonces la cantidad de horas trabajadas es:

$$\text{Total horas bombeo} = 43\,800 \text{ horas}$$

La cantidad de veces que se realizará el mantenimiento es:

$$\# \text{ veces mantenimiento} = 4$$

Luego, utilizando la ecuación (20):

$$\text{Costo Mantenimiento} = 30\% \text{ Precio Inicial} \times \text{Número de veces}$$

$$\text{Costo Mantenimiento} = \$ 18\,221.95$$

4.1.3.5 Cálculo del costo total

El costo total de la línea de impulsión y el equipo de bombeo se resuelve con la ecuación (21):

$$\begin{aligned} CT &= \text{Costo Total Tub. Instalada} + \text{Costo equipo bombeo} \\ &+ \text{Costo Total Operacion} + \text{Costo Mantenimiento} \\ CT &= \$ 171\,853.18 \end{aligned}$$

4.2 ALTERNATIVA 2 - 12 HORAS DE BOMBEO AL DÍA PARA 20 L/S

Para esta alternativa se considera el funcionamiento de la bomba 12 horas al día, eso quiere decir que el caudal de bombeo es 20 l/s para satisfacer el volumen requerido.

4.2.1 LÍNEA DE IMPULSIÓN

4.2.1.1 Cálculo del diámetro de la Tubería

Se aproximará el valor del diámetro de la tubería utilizando la fórmula de Bresse, ecuación (1)

$$D = 0.5873 N^{0.25} \sqrt{Q_b}$$

Dónde:

$N = 12$, Número de horas de bombeo al día

$Q_b = 0.02 \text{ m}^3/\text{s}$, Caudal de bombeo

Desarrollando se obtiene:

$$D = 0.155 \text{ m}$$

El valor obtenido se aproxima hacia un valor comercial de diámetro de tubería teniendo en cuenta el tipo, diámetro nominal y diámetro interno, además considerando que la velocidad del flujo se encuentre entre los límites permisibles recomendados.

Luego el valor del diámetro de tubería resulta:

$$D = 0.160 \text{ m} = 6''$$

El espesor de la tubería HDPE SDR 11, para el diámetro mencionado es (ver Cuadro N°3.1):

$$e = 14.6 \text{ mm}$$

Por lo tanto el diámetro interno de la tubería resulta como:

$$D_c = 0.131 \text{ m}$$

4.2.1.2 Cálculo de la velocidad Media de Flujo

La velocidad del flujo se obtiene aplicando la ecuación de continuidad (ecuación (2))

$$V = \frac{4Q_b}{\pi D_c^2}$$

Dónde:

$$Q_b = 0.02 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_c = 0.131 \text{ m}$$

Desarrollando se obtiene:

$$V = 1.49 \text{ m/s}$$

El valor de la velocidad se encuentra entre los límites recomendados, mayor a 1.2 m/s y menor a 2 m/s.

4.2.1.3 Cálculo de pérdida de Carga en Tuberías

4.2.1.3.1 Cálculo de Pérdida de Carga por Fricción

Estas pérdidas se calculan utilizando la ecuación de Hazen-Williams (expresiones (4) y (5))

$$S = \left(\frac{Q_b}{0.2785 \cdot C \cdot D_c^{2.63}} \right)^{1.85}$$
$$H_f = S \times L$$

Donde:

$$Q_b = 0.02 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = 140 \text{ (Tubería HDPE)}$$

$$D_c = 0.131 \text{ m}$$

$$L = 1000 \text{ m}$$

Desarrollando se obtiene:

$$S = 0.01366 \text{ m/m}$$

$$H_f = 13.66 \text{ m}$$

4.2.1.3.2 Cálculos de pérdidas de Carga Local

Según el Perfil de la línea de ha definido los siguientes accesorios con sus respectivos valores del coeficiente de pérdidas locales k , detallados en el Cuadro N°3.3 obtenidos de diversos manuales y textos especializados en hidráulica.

Cuadro N° 4.3: Valores de coeficiente local para accesorio Alternativa 2

ACCESORIO	Km(fac.Perd)	Cantidad	Perdida local
Válvula compuerta	0.20	1.00	0.20
Válvula cheque	2.50	2.00	5.00
Válvula de pie	4.00	1.00	4.00
Codo radio corto 90°	0.90	1.00	0.90
Codo gran radio 90°	0.60	5.00	3.00
Codo 45°	0.42	2.00	0.84
Total =			13.94

Fuente: Elaboración propia

Entonces, reemplazando los datos en la expresión (6) resulta:

$$H_i = \sum k \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$H_i = 1.57 \text{ m}$$

4.2.1.3.3 Cálculo de la pérdida total

La pérdida de carga total es igual a la suma de la pérdida por fricción y la pérdida de carga total, por lo tanto:

$$\text{Perdida total} = 15.24 \text{ m}$$

4.2.1.4 Cálculo de la Altura Dinámica Total

Utilizando la expresión (7)

$$\text{Altura dinámica total (HDT)} = \text{Altura estática} + \text{Pérdidas totales}$$

$$HDT = 95.24 \text{ m}$$

4.2.2 EQUIPO DE BOMBEO

4.2.2.1 Cálculo de la potencia

4.2.2.1.1 Cálculo de la potencia de Consumo

Energía entregada por la bomba se calculará con la expresión (8)

$$P_c(HP) = \frac{100 \cdot Q_b \cdot HDT}{75 \cdot \eta_b}$$

Donde:

$$HDT = 95.24 \text{ m, Altura dinámica total}$$

$$Q_b = 20 \text{ l/s}$$

$$\eta_b = 75 \%$$

Desarrollando se obtiene:

$$P_c = 25.04 \text{ HP}$$

4.2.2.1.2 Cálculo de la potencia Instalada

Es la energía entregada por la bomba se calculará con la expresión (9)

$$P_i(\text{HP}) = \frac{100. Q_b. HDT}{75. \eta_c}$$

Donde:

$$HDT = 95.24 \text{ m, Altura dinámica total}$$

$$Q_b = 20 \text{ l/s}$$

$$\eta_m = 75\% \text{ (eficiencia del motor)}$$

$$\eta_c = 56.2\%$$

Desarrollando se obtiene:

$$P_i = 33.38 \text{ HP}$$

Haciendo referencia a esta potencia calculada, la bomba seleccionada será de acuerdo al punto de operación, según la marca se obtendrá la potencia real de consumo e instalada para dicha bomba, ver Anexo 1.2 - Alternativa 2, por lo tanto la potencia real es:

$$P_c = 40 \text{ HP}$$

4.2.3 COSTOS

4.2.3.1 Cálculo del costo total de tubería instalada

Utilizando la ecuación (17):

$$\text{Costo Total Tub. Instalada} = \text{Costo Tub.} \times \text{Longitud total tub}$$

Donde:

$$\text{Costo Tub.} = 16.33 \text{ \$/m (Tubería HDPE SDR 11 D = 6")}$$

$$\text{Longitud total tub.} = 1000 \text{ m}$$

Desarrollando se obtiene:

$$\text{Costo Total Tub. Instalada} = \$ 16\,330$$

4.2.3.2 Cálculo del costo total del equipo de bombeo instalado

El costo que se menciona obedece a una cotización real para los datos proporcionados en el análisis (ver Anexo 1.2 – Alternativa 2)



$$\text{Costo equipo bombeo} = \$ 21\,068.21$$

4.2.3.3 Cálculo del costo total de Operación

Utilizando la ecuación (19):

$$\text{Costo Total Operacion} = \frac{\text{Horas de Bombeo}}{\text{total}} \times P_i(KW) \times \text{Energía}$$

Donde:

$$P_i(KW) = 40\,HP = 29.85\,KW$$

$$\text{Energía} = 0.20\$/KW - \text{hora}$$

Desarrollando se obtiene:

$$\text{Costo Total Operacion} = \$ 130\,746.26$$

4.2.3.4 Cálculo del costo de Mantenimiento

Según lo mencionado en el ítem 3.3.4 el mantenimiento se realizará después de 10 000 horas de operación, además se sabe que la mina tendrá una duración de 5 años, entonces la cantidad de horas trabajadas es:

$$\text{Total horas bombeo} = 21\,900\,horas$$

La cantidad de veces que se realizará el mantenimiento es:

$$\# \text{ veces mantenimiento} = 2$$

Luego, utilizando la ecuación (20):

$$\text{Costo Mantenimiento} = 30\% \text{Precio Inicial} \times \text{Número de veces}$$

$$\text{Costo Mantenimiento} = \$ 12\,640.92$$

4.2.3.5 Cálculo del costo total

El costo total de la línea de impulsión y el equipo de bombeo se resuelve con la ecuación (21):

$$\begin{aligned} CT &= \text{Costo Total Tub. Instalada} + \text{Costo equipo bombeo} \\ &+ \text{Costo Total Operacion} + \text{Costo Mantenimiento} \\ CT &= \$ 180\,785.40 \end{aligned}$$

4.3 ALTERNATIVA 3 - 08 HORAS DE BOMBEO AL DÍA PARA 30 L/S

Para esta alternativa se considera el funcionamiento de la bomba 8 horas al día, eso quiere decir que el caudal de bombeo es 30 l/s para satisfacer el volumen requerido.

4.3.1 LÍNEA DE IMPULSIÓN

4.3.1.1 Cálculo del diámetro de la Tubería



Se aproximará el valor del diámetro de la tubería utilizando la fórmula de Bresse, ecuación (1)

$$D = 0.5873 N^{0.25} \sqrt{Q_b}$$

Dónde:

$N = 8$, Número de horas de bombeo al día

$Q_b = 0.03 \text{ m}^3/\text{s}$, Caudal de bombeo

Desarrollando se obtiene:

$$D = 0.171 \text{ m}$$

El valor obtenido se aproxima hacia un valor comercial de diámetro de tubería teniendo en cuenta el tipo, diámetro nominal y diámetro interno, además considerando que la velocidad del flujo se encuentre entre los límites permisibles recomendados.

Luego el valor del diámetro de tubería resulta:

$$D = 0.200 \text{ m} = 8''$$

El espesor de la tubería HDPE SDR 11, para el diámetro mencionado es (ver Cuadro N° 3.1):

$$e = 18.2 \text{ mm}$$

Por lo tanto el diámetro interno de la tubería resulta como:

$$D_c = 0.164 \text{ m}$$

4.3.1.2 Cálculo de la velocidad Media de Flujo

La velocidad del flujo se obtiene aplicando la ecuación de continuidad (ecuación (2))

$$V = \frac{4Q_b}{\pi D_c^2}$$

Dónde:

$Q_b = 0.03 \text{ m}^3/\text{s}$

$D_c = 0.164 \text{ m}$

Desarrollando se obtiene:

$$V = 1.43 \text{ m/s}$$

El valor de la velocidad se encuentra entre los límites recomendados, mayor a 1.2 m/s y menor a 2 m/s.

4.3.1.3 Cálculo de pérdida de Carga en Tuberías

4.3.1.3.1 Cálculo de Pérdida de Carga por Fricción

Estas pérdidas se calculan utilizando la ecuación de Hazen-Williams (expresiones (4) y (5))

$$S = \left(\frac{Q_b}{0.2785 \cdot C \cdot D_c^{2.63}} \right)^{1.85}$$
$$H_f = SxL$$

Donde:

$$Q_b = 0.03 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = 140 \text{ (Tubería HDPE)}$$

$$D_c = 0.164 \text{ m}$$

$$L = 1000 \text{ m}$$

Desarrollando se obtiene:

$$S = 0.0097 \text{ m/m}$$

$$H_f = 9.7 \text{ m}$$

4.3.1.3.2 Cálculos de pérdidas de Carga Local

Según el Perfil de la línea de ha definido los siguientes accesorios con sus respectivos valores del coeficiente de pérdidas locales k , detallados en el Cuadro N°3.3 obtenidos de diversos manuales y textos especializados en hidráulica.

Cuadro N° 4.4: Valores de coeficiente local para accesorio Alternativa 3

ACCESORIO	Km(fac.Perd)	Cantidad	Pérdida local
Válvula compuerta	0.20	1.00	0.20
Válvula cheque	2.50	2.00	5.00
Válvula de pie	4.00	1.00	4.00
Codo radio corto 90°	0.90	1.00	0.90
Codo gran radio 90°	0.60	5.00	3.00
Codo 45°	0.42	2.00	0.84
Total =			13.94

Fuente: Elaboración propia

Entonces, reemplazando los datos en la expresión (6) resulta:

$$H_i = \sum k \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$H_i = 1.45 \text{ m}$$

4.3.1.3.3 Cálculo de la pérdida total

La pérdida de carga total es igual a la suma de la pérdida por fricción y la pérdida de carga total, por lo tanto:

$$Perdida\ total = 11.15\ m$$

4.3.1.4 Cálculo de la Altura Dinámica Total

Utilizando la expresión (7)

$$Altura\ dinámica\ total\ (HDT) = Altura\ estática + Pérdidas\ totales$$

$$HDT = 91.15\ m$$

4.3.2 EQUIPO DE BOMBEO

4.3.2.1 Cálculo de la potencia

4.3.2.1.1 Cálculo de la potencia de Consumo

Energía entregada por la bomba se calculará con la expresión (8)

$$P_c(HP) = \frac{100 \cdot Q_b \cdot HDT}{75 \cdot \eta_b}$$

Donde:

$$HDT = 91.15\ m, \text{ Altura dinámica total}$$

$$Q_b = 30\ l/s$$

$$\eta_b = 75\ \%$$

Desarrollando se obtiene:

$$P_c = 35.95\ HP$$

4.3.2.1.2 Cálculo de la potencia Instalada

Es la energía entregada por la bomba se calculará con la expresión (9)

$$P_i(HP) = \frac{100 \cdot Q_b \cdot HDT}{75 \cdot \eta_c}$$

Donde:

$$HDT = 91.15\ m, \text{ Altura dinámica total}$$

$$Q_b = 30\ l/s$$

$$\eta_m = 75\% \text{ (Eficiencia del motor)}$$

$$\eta_c = 56.2\%$$

Desarrollando se obtiene:

$$P_i = 47.93\ HP$$



Haciendo referencia a esta potencia calculada, la bomba seleccionada será de acuerdo al punto de operación, según la marca se obtendrá la potencia real de consumo e instalada para dicha bomba, ver Anexo 1.3 - Alternativa 3, por lo tanto la potencia real es:

$$P_c = 50 \text{ HP}$$

4.3.3 COSTOS

4.3.3.1 Cálculo del costo total de tubería instalada

Utilizando la ecuación (17):

$$\text{Costo Total Tub. Instalada} = \text{Costo Tub.} \times \text{Longitud total tub}$$

Donde:

$$\text{Costo Tub.} = 25.46 \text{ \$/m (Tubería HDPE SDR 11 D = 8")}$$

$$\text{Longitud total tub.} = 1000 \text{ m}$$

Desarrollando se obtiene:

$$\text{Costo Total Tub. Instalada} = \$ 25\,460$$

4.3.3.2 Cálculo del costo total del equipo de bombeo instalado

El costo que se menciona obedece a una cotización real para los datos proporcionados en el análisis (ver Anexo 1.3 – Alternativa 3)

$$\text{Costo equipo bombeo} = \$ 17\,356.57$$

4.3.3.3 Cálculo del costo total de Operación

Utilizando la ecuación (19):

$$\text{Costo Total Operacion} = \frac{\text{Horas de Bombeo total}}{\text{total}} \times P_i(\text{KW}) \times \text{Energía}$$

Donde:

$$P_i(\text{KW}) = 50 \text{ HP} = 37.31 \text{ KW}$$

$$\text{Energía} = 0.20 \text{ \$/KW – hora}$$

Desarrollando se obtiene:

$$\text{Costo Total Operacion} = \$ 108\,955.22$$

4.3.3.4 Cálculo del costo de Mantenimiento

Según lo mencionado en el ítem 3.3.4 el mantenimiento se realizará después de 10 000 horas de operación, además se sabe que la mina tendrá una duración de 5 años, entonces la cantidad de horas trabajadas es:

$$\text{Total horas bombeo} = 14\,600 \text{ horas}$$

La cantidad de veces que se realizará el mantenimiento es:

$$\# \text{ veces mantenimiento} = 1$$

Luego, utilizando la ecuación (20):

$$\text{Costo Mantenimiento} = 30\% \text{ Precio Inicial} \times \text{Número de veces}$$

$$\text{Costo Mantenimiento} = \$ 5206.97$$

4.3.3.5 Cálculo del costo total

El costo total de la línea de impulsión y el equipo de bombeo se resuelve con la ecuación (21):

$$CT = \text{Costo Total Tub. Instalada} + \text{Costo equipo bombeo}$$

$$+ \text{Costo Total Operacion} + \text{Costo Mantenimiento}$$

$$CT = \$ 156\,978.76$$

4.4 SELECCION DE LA ALTERNATIVA

Según el análisis realizado se escogió la mejor opción tanto técnica como económica, haciendo un cuadro comparativo se puede apreciar las características fundamentales de los sistemas incluyendo los costos de cada uno de ellos (ver Cuadro N° 4.4)

Cuadro N° 4.5: Valores Altura-Gasto de turbina vertical seleccionada

Descripción	Diámetro de la tubería	Longitud de tubería	Potencia de la Bomba (HP)	Costo total tubería instalada (\$)	Costo de la bomba (\$)	Costo Consumo Energético Total (\$)	Costo de mantenimiento Total (\$)	Costo Total Sistema
Alternativa 1 (10 l/s y 24 horas)	4"	1000	20	7700	15184.96	130746.26	18221.95	171853.17
Alternativa 2 (20 l/s y 12 horas)	6"	1000	40	16330	21068.21	130746.26	12640.92	180785.39
Alternativa 3 (30 l/s y 08 horas)	8"	1000	50	25460	17356.57	108955.22	5206.97	156978.76

Fuente: Elaboración propia

Del Cuadro N° 4.5 se puede deducir lo siguiente:

En la Alternativa 1, el equipo de bombeo cuesta menos respecto a las otras dos alternativas, pero su mantenimiento cuesta más que las otras debido a que la bomba funcionará las 24 horas del día.



En la Alternativa 2, el costo energético cuesta igual que la alternativa 1, el mantenimiento es menor debido a su que sus horas de funcionamiento pero cuesta más la instalación de tubería por el aumento de diámetro.

La Alternativa 3 muestra una tubería más costosa por el aumento del caudal (3 veces respecto a la alternativa 1), la diferencia es notoria en el mantenimiento, esto debido a que funcionará 8 horas al día, por lo tanto se llega a la conclusión de que la alternativa 3 es la más viable por su bajo costo respecto a las otras.

4.5 EQUIPO DE BOMBEO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Para este proyecto se ha visto conveniente seleccionar una bomba de turbina vertical, este tipo de bombas se usan frecuentemente en la extracción de pozos profundos y embalses.

Las electrobombas de turbina vertical se han vuelto la alternativa más aceptable para este tipo de proyectos ya que su característica principal radica en el tema de eficiencia, por la capacidad de bombeo que presenta ante otras alternativas, su diseño exclusivo de varias etapas hacen que sea la alternativa óptima para traslados de grandes alturas. En vista de ello se busca modelos de electrobombas de turbina vertical cuyo campo de utilización se adapte a las condiciones de diseño de dicho proyecto. Es así como se obtiene la electrobomba con las siguientes características:

Cuadro N° 4.6: Características de la bomba y el motor

Bomba	
Tipo	TURBINA VERTICAL
Marca	PEERLESS
Modelo	PEERLESS VERTICAL - M10LB 6 STAGES
DN	150mm
Número de etapas	Seis (6und)
Motor	
Marca	USEM
Modelo	HT50S2BLG
Voltaje	460 V (Trifásica)
Frecuencia	60 Hz
Potencia	50 HP (37.5 kW)
Velocidad	1775RPM
Eficiencia del motor	83%
Temperatura Max	40 °C
N° polos	2 (Dos)
Número de unidades	Uno (1 und)

Fuente: Peerless Pump

Los datos de caudal y altura de bombeo que desarrolla esta electrobomba son extraídos de la curva proporcionada por el fabricante o proveedor que se detalla en la sección anexos y presentados en el siguiente cuadro N° 4.7.

Cuadro N° 4.7: Valores Altura-Gasto de turbina vertical seleccionada

Qbomba (lt/s)	0,0	5,3	10,6	15,9	21,2	26,5	31,8	37,1	42,4
HDT (m)	107,3	106,6	105,4	104,2	102,4	98,5	91,6	81,5	68,9

Fuente: Elaboración propia

Estos datos forman la curva característica de la electrobomba y deben ser ploteados en la misma grafica de la curva característica de la red para poder encontrar el punto óptimo de operación del equipo.

Para nuestro caso con la electrobomba seleccionada el punto óptimo tendrá los siguientes parámetros:

Caudal Óptimo ($Q_{\text{óptimo}}$): 30 lt/s

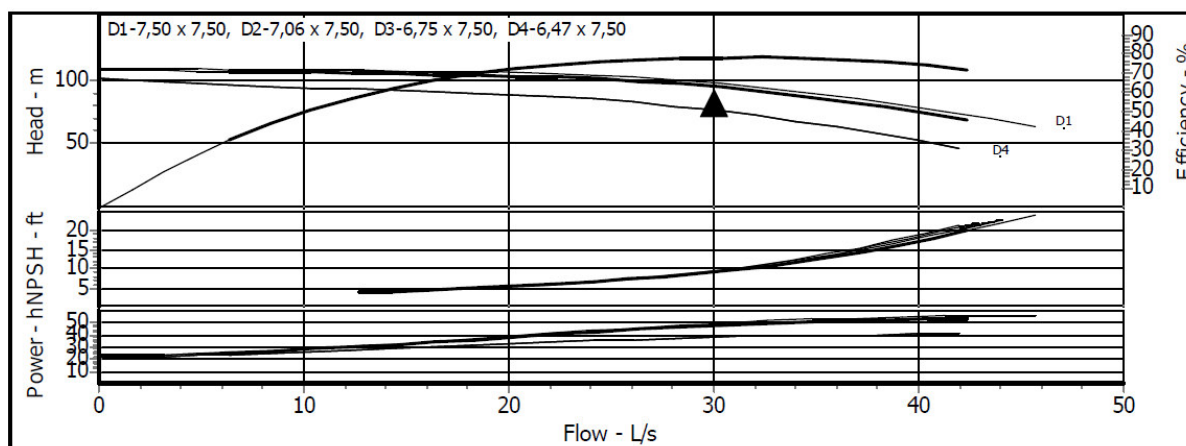
Altura Dinámica Total Óptimo ($HDT_{\text{óptimo}}$): 92 m

Altura Positiva de Succión Neta requerido (NPSH): 3 m

Eficiencia de la Bomba (η_{bomba}): 78%

La curva característica de la bomba se muestra en la figura N° 4.1 donde se observa el punto óptimo de operación de la bomba de turbina vertical.

Figura N° 4.1: Curva Característica de la Bomba seleccionada



Fuente: Software: Selección de Turbina Vertical "Empresa Grundfos"

Además en la gráfica de la curva correspondiente de la sección Anexos se presenta un resumen de las características del equipo de bombeo seleccionado y los parámetros de funcionamiento.

4.6 ANÁLISIS DE LA TUBERÍA ENTERRADA Y DADOS DE APOYOS PARA LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

4.6.1 ANÁLISIS DE LA TUBERÍA ENTERRADA

Este análisis se realizará en el punto más bajo de la línea de impulsión (mayor carga de relleno), a su vez se considerarán la carga viva de un vehículo de eje simple y el tipo de suelo de relleno que para este caso es Arena Limosa.

La carga de relleno que actúa sobre la tubería se calcula con la ecuación (22)

$$P = \gamma \cdot HR + Po$$

Dónde:

$$\gamma = 1420 \text{ Kg}/m^3$$

$$HR = 1.5 \text{ m}$$

$$Po = 957 \text{ Kg}/m^2$$

Reemplazando en la expresión de la carga de total, se obtiene:

$$P = 3797 \text{ Kg}/m^2$$

El esfuerzo de compresión en las paredes del tubo se calcula con la expresión (23)

$$\sigma_c = \frac{9.81 \times P \times D}{2 \times 1000 \times A}$$

Dónde:

$$P = 3797 \text{ Kg}/m^2$$

$$D = 0.20 \text{ m}$$

$$A = 0.01 \text{ m}^2/m$$

Reemplazando se obtiene:

$$\sigma_c = 372.48 \text{ KN}/m^2$$

Luego, el factor de seguridad al límite de este esfuerzo en la pared se calcula con la expresión (24):

$$\eta_{cru} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_c} > 2$$

Dónde:

$\sigma_{max} = 50 \frac{KgN}{cm^2} = 4905 \text{ KN}/m^2$, es la resistencia máxima de compresión que puede soportar la tubería HDPE SDR 11 antes del fallo de ruptura (ver Cuadro N° 3.1)

Por lo tanto se obtiene el valor de:

$$\eta_{cru} = 13 > 2$$

4.6.2 DISEÑO DE DADOS DE APOYO (depende del perfil)

Tomando la línea de la tubería de HDPE, el diseño del apoyo se desarrolla para un nudo de cambio horizontal y uno de cambio vertical.

4.6.2.1 Cambio de dirección Horizontal y vertical (Codo 45°)

Se utilizará la metodología planteada en el Item 3.4.2, donde se utilizarán la ecuación (25), (26) y (27)

$$R = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \gamma \cdot H_p \cdot \sin \frac{\theta}{2}}{2}$$
$$H_p = 1.5 \cdot H$$

Dónde:

$$D = 0.164 \text{ m}$$

$$\gamma = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$H = 50 \text{ m (Ver vista en perfil de la línea)}$$

$$\theta = 45^\circ$$

Reemplazando los datos en las ecuaciones (25) y (26), se obtiene:

$$H_p = 90 \text{ m}$$

$$R = 1448 \text{ Kg}$$

De acuerdo a la información de suelos, el esfuerzo vertical admisible en el recorrido de la línea es de 3.1 kg/cm² a la profundidad de 1.0 metro. Como el dado se apoya en la pared de la zanja se debe de calcular el área con el esfuerzo horizontal admisible correspondiente a la mitad del esfuerzo vertical admisible e igual a 1.55 kg/cm². Luego para calcular el valor del área de contacto del bloque se utilizará la ecuación (27):

$$A_B = \frac{R}{\sigma_{adm}}$$

Dónde:

$$\sigma_{adm} = 1.55 \text{ Kg/cm}^2$$

$$R = 1448 \text{ Kg}$$

Reemplazando los datos se obtiene:

$$A_B = 934.19 \text{ cm}^2$$



Finalmente las dimensiones de la superficie de contacto del apoyo tendrán que ser aquellas que den un área mayor a la calculada. Para tal caso utilizando la ecuación (28)

$$L = W = 1.5x DN$$

Dónde:

$$DN = 200 \text{ mm}$$

$$L = 30 \text{ cm}$$

$$W = 30 \text{ cm}$$

Tales resultados deben cumplir con la condición expresada en la ecuación (30)

$$A_{B-efectiva} = lxW > A_B$$

Por lo tanto los valores de L y W quedan como:

$$L = 35 \text{ cm} \quad y \quad W = 35 \text{ cm}$$

L y W son las dimensiones del dado de apoyo mostradas en la figura N° 4.2

El valor de N puede calcularse con la ecuación (29):

$$N = 1.2x DN$$

$$N = 0.24 \text{ m}$$

Para fines prácticos se asume:

$$N = 30 \text{ cm}$$

Como la forma del bloque escogido para la cimentación es del tipo tronco piramidal, las dimensiones de la base son las obtenidas arriba (L y W), mientras que las otras dos dimensiones del área que se encuentra en contacto con el tubo serán determinadas en función del diámetro nominal y N, para esto se utiliza las ecuaciones (31) y (32)

$$T = (N - 0.2x DN)$$

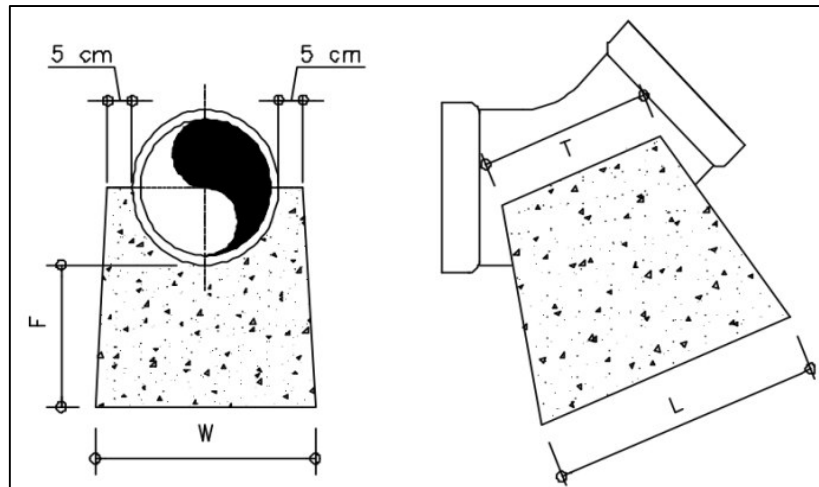
$$F = \left(N - \frac{DN}{2} \right)$$

Donde se obtiene:

$$T = 0.30 \text{ m} = 30 \text{ cm}$$

$$F = 0.20 \text{ m} = 20 \text{ cm}$$

Figura N° 4.2: *Detalle apoyo*



Fuente: Estructuras hidráulicas

5.0 CONCLUSIONES

- Se diseñó la línea de impulsión y sistema de bombeo para las 3 variantes planteadas que fueron caudales de 10, 20 y 30 l/s con funcionamiento de 24, 12 y 08 horas de bombeo al día respectivamente, los resultados del diseño se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 5.1: Resultados del diseño para cada alternativa

Descripción	Diámetro de la tubería (pulgadas)	Longitud de tubería (m)	Potencia de la Bomba (HP)
Alternativa 1 (10 l/s y 24horas)	4"	1000	20
Alternativa 2 (20 l/s y 12horas)	6"	1000	40
Alternativa 3 (30 l/s y 08 horas)	8"	1000	50

Fuente: Elaboración propia

- Con los diseños obtenidos se calcularon los costos de instalación, operación y mantenimiento para cada alternativa planteada, los resultados se muestran en el Cuadro N° 5.1

Cuadro N° 5.2: Resultados de los costos para cada alternativa

Descripción	Costo total tubería instalada(\$)	Costo de la bomba (\$)	Costo Consumo Energético Total (\$)	Costo de mantenimiento Total (\$)	Costo Total Sistema
Alternativa 1 (10 l/s y 24horas)	7700	15 184.96	130 746.26	18 221.95	171 853.17
Alternativa 2 (20 l/s y 12horas)	16 330	21 068.21	130 746.26	12 640.92	180 785.39
Alternativa 3 (30 l/s y 08 horas)	25 460	17 356.57	108 955.22	5 206.97	156 978.76

Fuente: Elaboración propia

- Se eligió la Alternativa 3 como la más viable debido a su menor costo con respecto a las otras dos alternativas y cumple las mismas funciones de requerimiento.
- El tipo de bomba que se seleccionó para el sistema de la Alternativa 3 es del tipo Turbina Vertical, la cual ha sido diseñada exclusivamente para trabajar en embalses,

este tipo de bomba rinde una mejor eficiencia con respecto a las otras como son las centrífugas o estacionarias, las características de la bomba seleccionada se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 5.3: Características de la bomba y el motor

Bomba	
Tipo	TURBINA VERTICAL
Marca	PEERLESS
Modelo	PEERLESS VERTICAL - M10LB 6 STAGES
DN	150mm
Número de etapas	Seis (6und)
Motor	
Marca	USEM
Modelo	HT50S2BLG
Voltaje	460 V (Trifásica)
Frecuencia	60 Hz
Potencia	50 HP (37.5 kW)
Velocidad	1775RPM
Eficiencia del motor	83%
Temperatura Max	40 °C
N° polos	2 (Dos)
Número de unidades	Uno (1 und)

- Se determinó que el esfuerzo de compresión en las paredes del tubo es:

$$\sigma_c = 372.48 \text{ KN/m}^2$$

Mientras que la resistencia máxima de compresión que puede soportar la tubería HDPE SDR 11 antes del fallo de ruptura es 4905 KN/m^2 , por lo tanto se obtiene el valor del factor de seguridad:

$$\eta_{cru} = 13 > 2$$

- Los anclajes se diseñaron en cambio vertical y horizontal considerando un ángulo de 45° , el diseño muestra un dado de apoyo tipo tronco piramidal con dimensiones:

$$L = 35 \text{ cm}$$

$$W = 35 \text{ cm}$$

$$T = 30 \text{ cm}$$

$$F = 20 \text{ cm}$$



6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

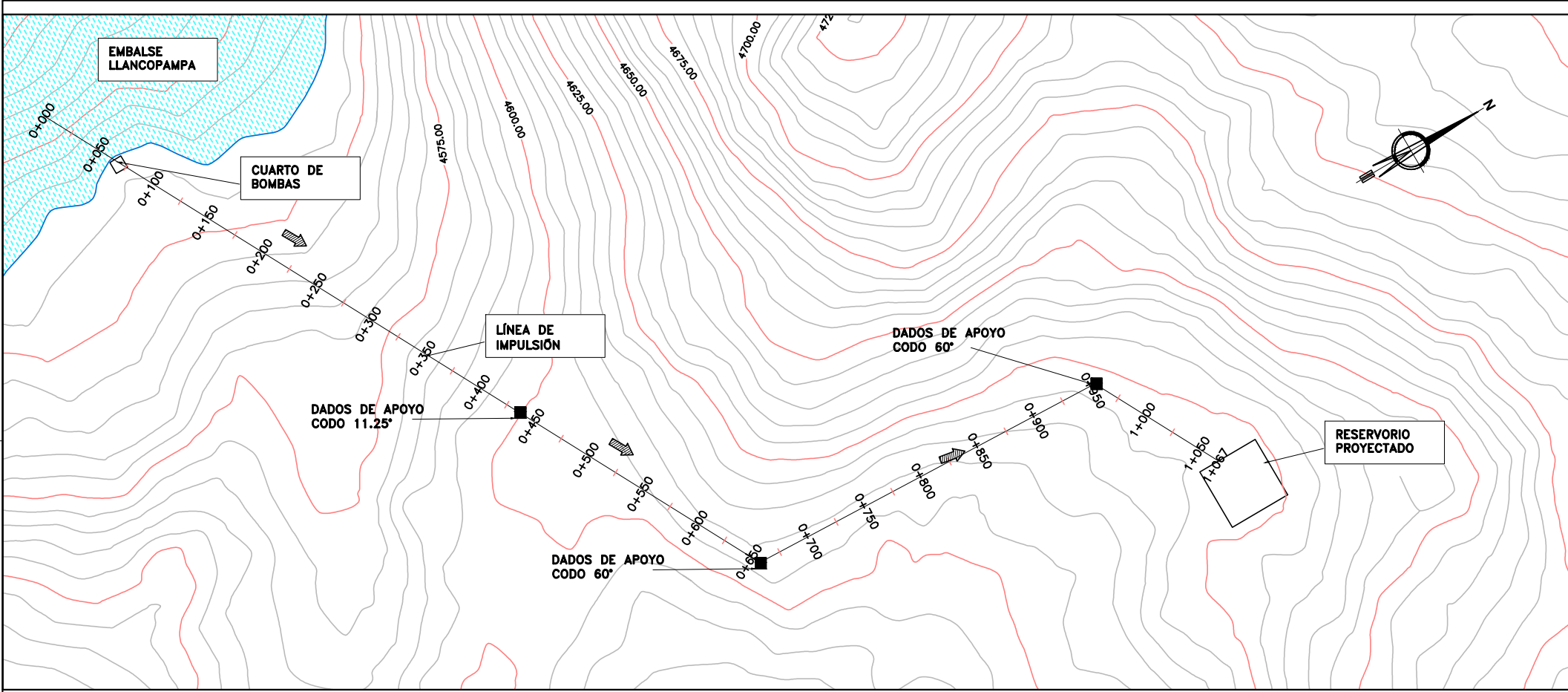
- Juan Saldarriaga, "Hidráulica de Tuberías", Editorial Alfaomega. Año de edición: 2009
- Granados Alfredo, Garrote Luis, Delgado Fernando y Francisco Martin (2003), Editorial Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, "Problemas de Obra Hidráulicas".
- P. Novak, Moffat y Nalluri (2001), Editorial McGraw - Hill Segunda edición Año "Estructuras hidráulicas".
- Streeter, Wylie (1979) "Mecánica de los Fluidos", McGraw – Hill.
- Arocha R. Simon, " Abastecimiento de agua - teoría y diseño", Editorial Vega. Año 1980 Madrid
- Sotelo Avila, " Hidráulica general", Editorial Limusa 1997
- Irving H Shames, "Mecánica de Fluidos", Editorial McGraw - Hill Tercera edición Año 1995.
- Lopez Cuallo Ricardo, "Diseño de acueductos y alcantarillado" (2006), Editorial Universidad De la Salle Facultad de Ingeniería Civil



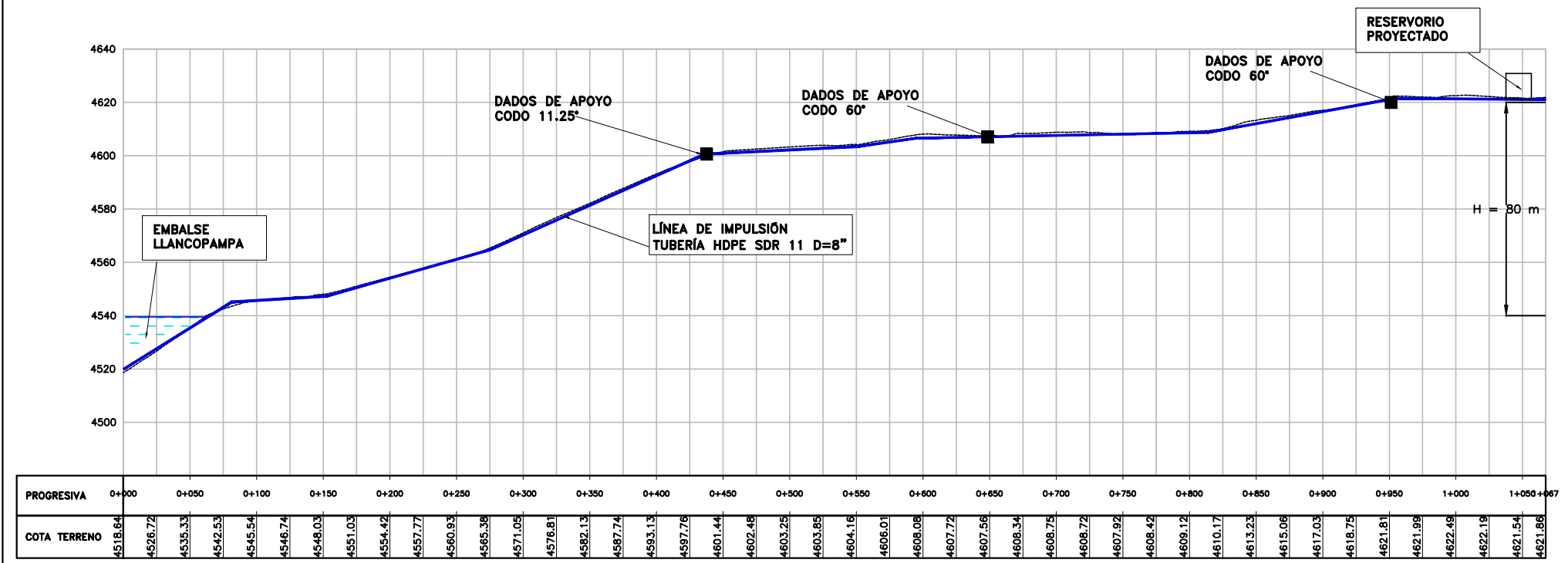
ANEXOS



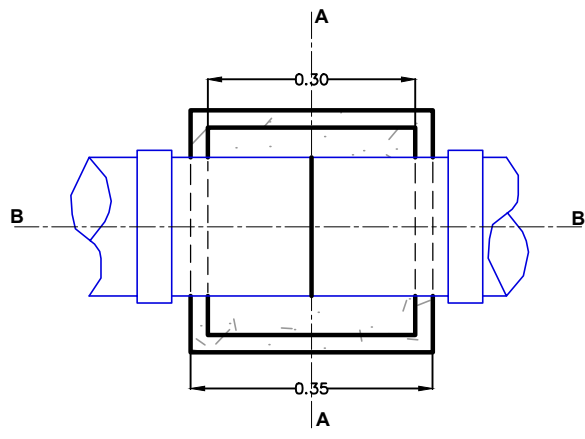
ANEXOS 1 - PLANOS



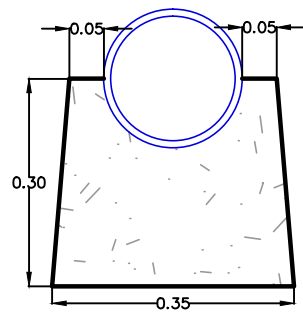
LÍNEA DE IMPULSIÓN - PLANTA
1:2000



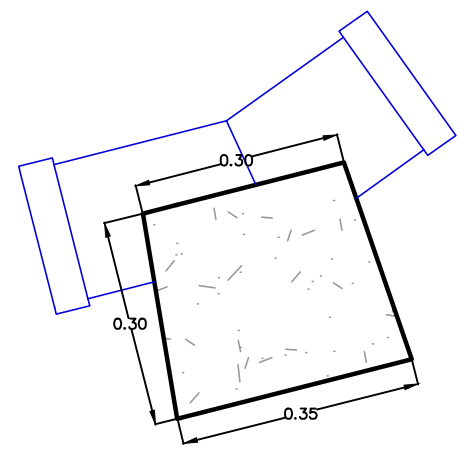
LÍNEA DE IMPULSIÓN - PERFIL LONGITUDINAL
ESC H: 1:2000
ESC V: 1:1000



DADO DE APOYO SECCIÓN TÍPICA PLANTA
1:5



DADO DE APOYO SECCIÓN TÍPICA CORTE A-A
1:5



DADO DE APOYO SECCIÓN TÍPICA CORTE B-B
1:5

NOTAS:
1. LA TOPOGRAFÍA FUE OBTENIDA DE IMÁGENES SATELITALES ASTERGDEM, EL SISTEMA DE REFERENCIA ES WGS 84 EN COORDENADAS UTM, ZONA 18L.
2. LA ESCALA GRÁFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE.
3. TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN EN METROS, SALVO QUE SE INDIQUE EN EL PLANO.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICA
EAP. INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS
ALUMNO: CARLOS ALBERTO RUIZ TORRES
ASESOR: Ing. JOSÉ JUAREZ CESPEDES

TÍTULO DE LA MONOGRAFÍA:
DISEÑO DE LA LÍNEA DE IMPULSIÓN PARA EL
AFIANZAMIENTO HÍDRICO DEL PROYECTO ANAMA

TÍTULO:
LINEA DE IMPULSIÓN
PLANTA, PERFIL LONGITUDINAL Y DETALLES
ESCALA : INDICADA
FECHA : SEPTIEMBRE 2014
PLANO N°: 001



ANEXOS 2 - COTIZACIONES DE BOMBAS



ANEXOS 2.1 - BOMBA ALTERNATIVA 1



Customer :

Project :
Quote No. : US-4299-149

Page No : 1

Contact :
Phone :
Date : Tuesday, 02 de September de 2014

Fax :

TECHNICAL CHECK FAILURES
* MANDATORY SELECTION

Item: 1
Model : Peerless Vertical - 7LB

Flow (L/s)	Head (m)	Eff. (%)	Power (hp)	Speed (RPM)
10	105,5	72,9	19,5	1770
Liquid	Temp. (°F)	Sp. Gravity	Visc. (cSt)	Dia. (inch)
Water	68	1,000	1,007	5,20

Summary Quotation:

Item No	Description	Weight (lb)	Qty
1	7LB, 14 Stage Bowl Assembly, Material Group A , Threaded Column 4/1, L4, Suction Bell, Threaded Discharge Bowl, OLS	0	1
2	Impeller, trimmed, surface finish Ra75, vane exit Std. Deburr	0	5
3	Impeller, full diameter, surface finish Ra75, vane exit Std. Fig 1-0.094x1,5	0	9
4	Adapter, Bottom Column	0	1
5	Top Bowl	93	1
6	Bowl, Intermediate	377	13
7	Collar, Sand, lower and upper	0	2
8	Bushing, Taper Lock (Collet) - Material Steel, 1215 CD	0	14
9	Charge for Polishing (Premium Efficiency)	0	14
10	Full Impeller Diameter Discount	0	9
11	Ring, Seal, Lateral	0	14
12	Suction	28	1
13	Plug, Pipe (Suction)	0	1
14	Shaft, Pump, D = 1,00 inch, L = 102,0 inch, T.Lock, Material 416ss	0	1
15	Coupling, Threaded, Shaft, Steel, 1215 CD	0	1
16	OLS Threaded column 4,0 inch / 1,00 inch shaft / 10ft bearing spacing, length base to bowl 78 inch	0	1
17	Pipe, column threaded TBE 4,0 inch, top, code length to base 78 inch, Material plain steel	73	1
18	No Shaft critical speed analysis	0	1
19	Shaft-Group of Column	0	1
20	Shaft, line, top, threaded , <2-Piece-Top-Shaft> , D= 1,00 inch, L= 82,00 inch, Material 416ss	18	1





Customer :

Project :

Quote No. : US-4299-149

Page No : 2

Contact :

Phone :

Date :

Fax :

Tuesday, 02 de September de 2014

21	Shaft, Head (Top shaft for VHS motor), <2-Piece-Top-Shaft>, Assembly	0	1
22	Coupling, Shaft, Line, Top, Standard, Material Steel, 1215 CD	0	1
23	Shaft, Head, VHS motor, D= 1,00 inch, L= 28,00 inch, Mat. 416ss	6	1
24	Shaft, Line, Diameter 1,00 inch, Material 416ss	0	1
25	Stuffing Box, Register 3,875, Assembly	0	1
26	Stuffing box	0	1
27	Stud, Seal Flange	0	4
28	Nut, Hex Seal Flange	0	4
29	Discharge head assembly 6x6x12G, cast iron	245	1
30	Pump operates at Constant Speed	0	1
31	Head, Discharge 6x6x12G, Motor Base Diameter BD= 12 inch	0	1
32	INFO: Dimension C (discharge head shaft stick down) = 3.000 inches	0	1
33	Name Plate, Pump Data	0	1
34	Name Plate, pp Data Screws	0	4
35	Name Plate, Warning	0	1
36	Wedge, Leveling	0	4
37	Plug 1, Discharge Head	0	1
38	Plug 3, Discharge Head	0	2
39	Plug 4, Discharge Head	0	2
40	Guard 1, Coupling	0	1
41	Guard 2, Coupling	0	1
42	Screw, Guard	0	8
43	Washer, Guard	0	8
44	Flange, Top	0	1
45	Stud, Flange, Top, Material 304ss, Standard	0	8
46	Nut, Top Flange / Flanged Column, Material 304ss, Standard	0	8
47	Gasket, Flange, Top	0	1
48	Nut, Top	0	1
49	Screw, Nut, Top	0	2



970.

Quote valid for 30 days

Grundfos - RAPID v8.25.9.1 (Windows 7) - 06th March 2012.





Customer :

Project :
Quote No. : US-4299-149 Page No : 3 Contact :
Phone : Fax :
Date : Tuesday, 02 de September de 2014

50	Bolt, Motor	0	4
51	Motor-electric, 20hp-1760rpm, 460/230V, 3Ph, 60Hz, Frame 256TP, VHS, Encl. TEFC, Eff. standard, Stock, TU, USEM	290	1
52	Motor Model-No: HT20S2BLE	0	1
53	INFO: Pump utilizes Service Factor 1.15. Peak HP of pump is 1,114 x Name Plate HP of motor	0	1
54	Service Factor 1.15	0	1
55	Non reverse ratchet	0	1
56	Starting Method at Voltage 460V: Full Voltage (standard)	0	1
57	Dimensions of connection: Line Shaft Diameter= 1,00 inch, Motor Base Diameter BD= 12 inch	0	1
58	Plate, Sole, Material carbon steel 056	51	1
59	Bolt, Base / Sole Plate	0	4
60	Painting - Coating	0	1
61	Painting of discharge head, PEERLESS blue, enameled	0	1
62	Surface of column: assembled pump - painted PEERLESS blue, enameled; unassembled pump - black as received	0	1
63	Painting of bowl, PEERLESS blue, enameled	0	1
64	Cost of energy of 0 years of pump operation at 0h/year, Motor Eff=88,73%, electricity price 0\$/kW is \$0	0	1
65	Motor Efficiency calculated from manufacture's data: 100% Load - 88,4%, 75% Load - 90,1%, 50% Load - 89,4%	0	1
66	Cost of losses in Column and Discharge Head - h-loss = 0,070 m and P-loss = 0,14 hp is \$0	0	1
67	Shipping Condition: Pump ASSEMBLED	0	1
68	Factory Assembly at overall length of pump 20ft and less - actual length = 186 inch (= 15.540 ft)	0	1

Terms of Pay ment:

Shipment Terms (INCOTERM)

Total (\$): 15.184,96

Estimated Schedule (week[s]):

10

Plus Applicable Taxes

Net Weight Total (lb):

1182

Payment Terms:

Prices quoted subject to acceptance of the Company's
Terms, Conditions, Warranty and our acceptance within 30 days
from the date quoted herein.



970.

Quote valid for 30 days

Grundfos - RAPID v8.25.9.1 (Windows 7) - 06th March 2012.





Customer :

Project :
Quote No. : US-4299-149

Page No : 4

Contact :
Phone :
Date : Tuesday, 02 de September de 2014

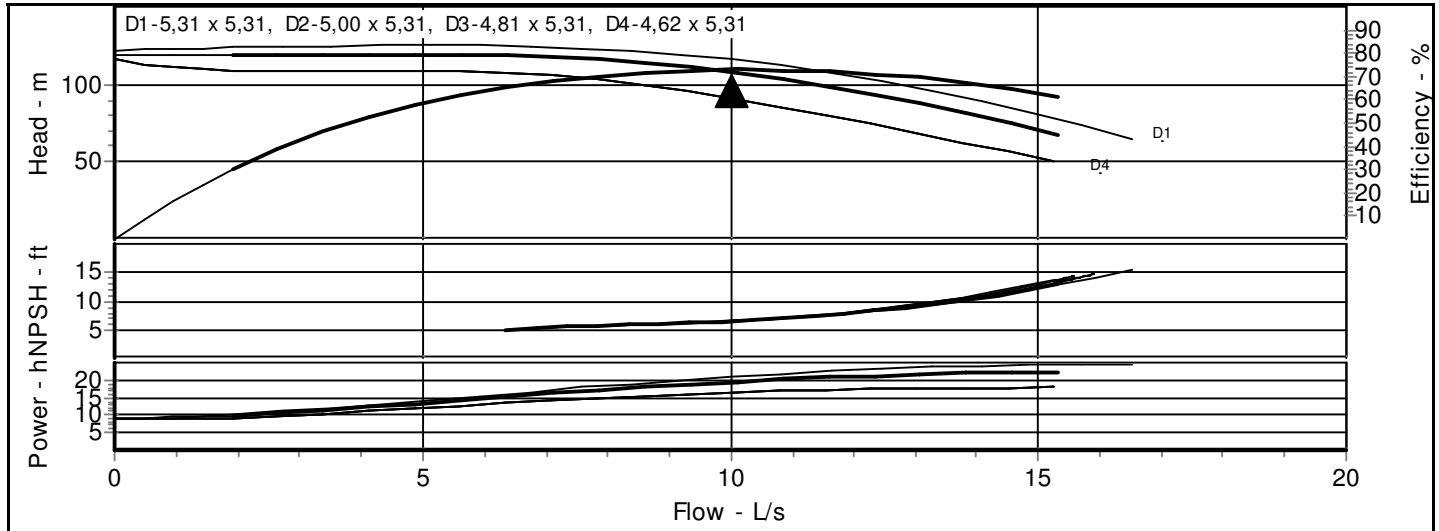
Pump Model: Peerless Vertical - 7LB 14 Stages
Nom. Speed: 1770 RPM, 60 Hz Electric
Market : Vertical Turbine Pump
Impeller No.: 2626208 / HC
Material Spec. Group: A - B: CIE; I: Brz = Standard

Item : 1
Your Ref. :
Fluid: Water
Temperature: 68 °F
Viscosity: 1,007 cSt
Sp. Gravity: 1,000 (base temp. 68 °F)

Stage No.	Trim Status	Imp. Dia. (inch)	D2-in x D2-out
-----	Full	-----	
1 - 9	Full P	5,31 x 5,31	
10 - 14	Trimmed P	4,67 x 5,31	

Flow rate Q: 10 L/s
Bowl Total Head: 105,5 m
Bowl Efficiency: 72,9 %
Bowl Power Required: 19,5 hp
NPSH Required 6 ft

Performance curve according to Hyd Inst-Peerless Std



Comments

Refer to factory for all single point bowl performance guarantees. Pumps must be selected with Hydraulic Institute-Peerless Std. See Std Hydraulic Performance document in RAPID for testing tolerances & contractual guarantees.

Flow (L/s)	Head (m)	Efficiency (%)	Power Required (hp)	NPSH Required (ft)	Thrust (lb)
0,0	119,3	0,0	9,0		1361
1,9	118,6	30,0	9,9		1256
3,8	119,2	50,1	12,0		1126
5,7	119,2	62,4	14,4		1033
7,7	116,7	69,5	16,9	5,6	955
9,6	110,2	72,6	19,1	6,3	847
11,5	99,4	72,3	20,7	7,5	689
13,4	84,9	68,6	21,8	9,6	493
15,3	67,9	61,3	22,3	12,8	283





Customer :

Project :
Quote No. : US-4299-149

Page No : 5

Contact :
Phone :
Date : Tuesday, 02 de September de 2014

Fax :

Item: 1
Model : Peerless Vertical - 7LB

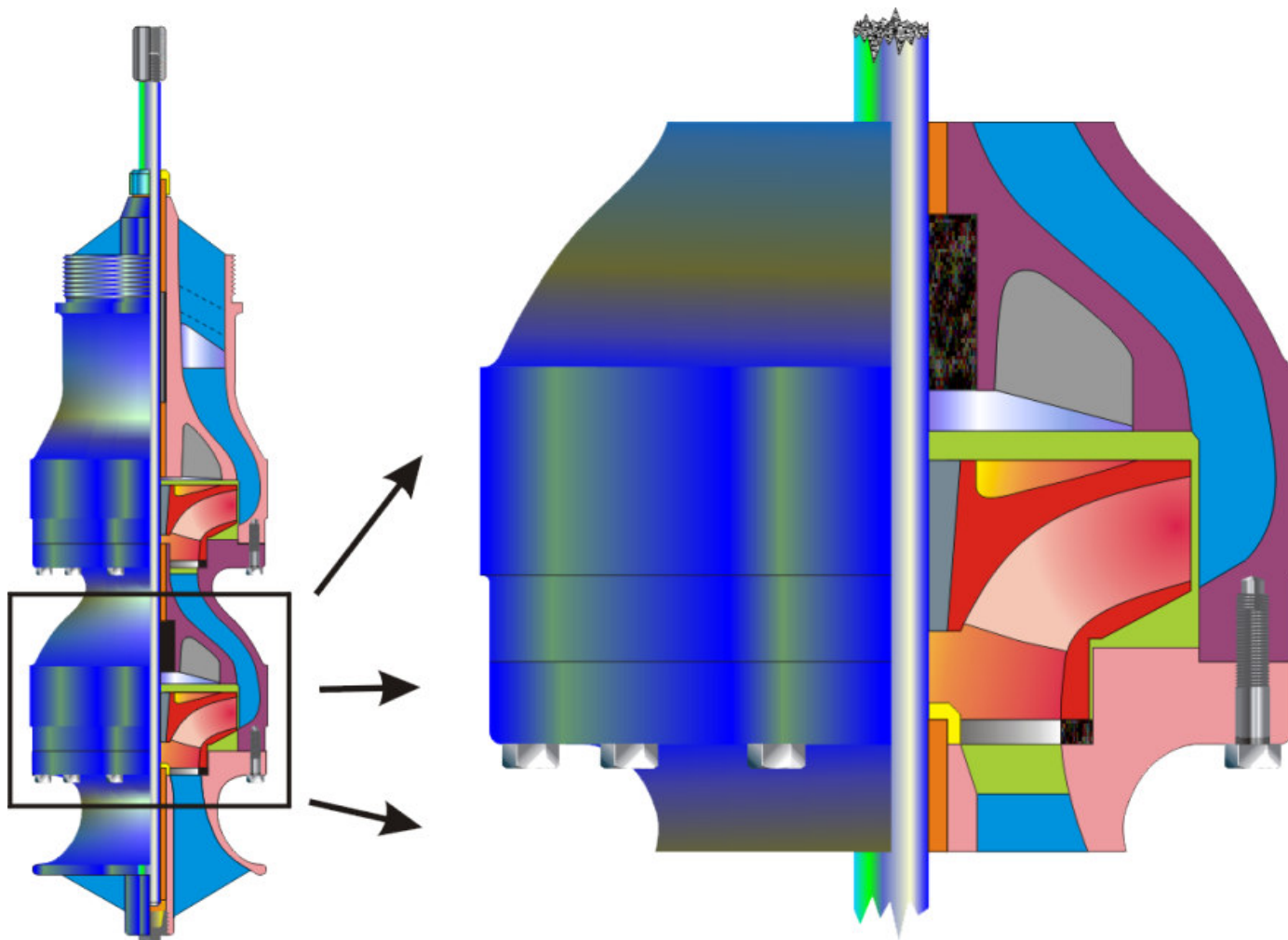
Flow (L/s)	Head (m)	Eff. (%)	Power (hp)	Speed (RPM)
10	105,5	72,9	19,49	1770
Liquid	Temp. (°F)	Sp. Gravity	Visc. (cSt)	Dia. (inch)
Water	68	1,000	1,007	5,20

Technical Information:

Technical Information: 7LB

Material Code of Suction	040 = Cast Iron, CL30 - ASTM A48, CLASS 30
Material Code of Case	XXX = Item not available in this configuration
Material Code of Intermediate Bowl	041 = Cast Iron, CL30 ENAMELED - ASTM A48, CLASS 30
Material Code of Top Bowl	041 = Cast Iron, CL30 ENAMELED - ASTM A48, CLASS 30
Material Code of Impeller	023 = BRONZE, ALUMINUM - ASTM B148
Maximum allowed pressure of bowl	410 psi = 28 bar
Diameter of Pump (Bowl) Shaft in inches	1
Diameter of Line Shaft (Column) in inches	1,0000
Pump as Submersible?	True
Is Enclosed Line Shaft (ELS) possible?	True
Is Flanged Column possible?	True
Is Threaded Column possible?	True
Hub Stick Down in inches	2.5
Lateral setting, best in inches	0,125
Lateral adjustment, standard in inches	0,375
Lateral adjustment, maximum in inches	0,75
Net Area of Impeller Inlet	4,89 inch ² = mm ² ;
Sphere Size	0,25 inch = 0,635 mm
Stick up of pump shaft	10,00 inch = 10,000 mm
Moment of Inertia of 1 Impeller WR ²	12,8 lbs*inch ² = kg*m ²
Moment of Inertia of rotor (all impellers + bowl shaft + line shaft) WR ²	lbs*inch ² = kg*m ²

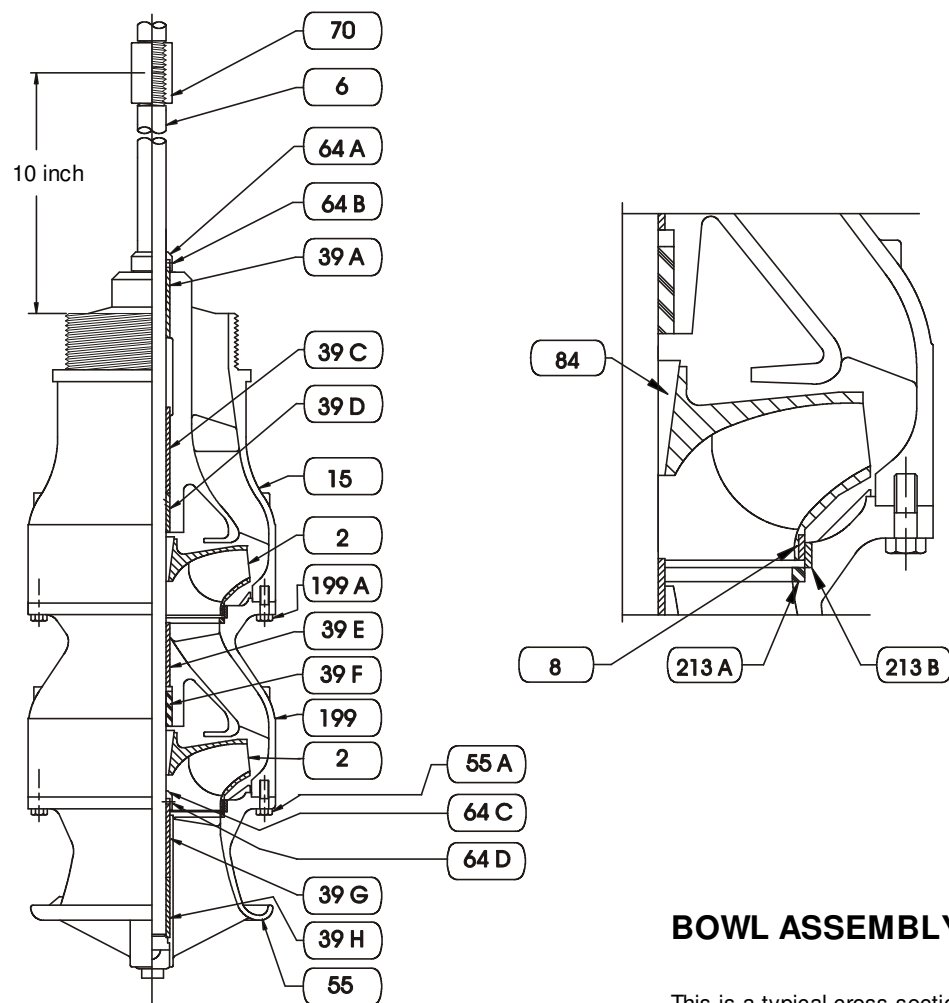




Project :	Capacity: 10 (L/s)	Frame/Model: 256TP
Customer:	Total Head: 105,5 (m)	Elec. Spec.: Ph.
Item No.: 1	Pump Speed: 1770 (RPM)	Service Factor:
Quote No. : US-4299-149	Impeller Dia.: 5,20 (inch)	Rotation: counter-clockwise
Pump Model: Peerless Vertical - 7LB	Power: 20 (hp)	Enclosure/Type:



Date : Tuesday, 02 de September de 2014
Page No : 6



BOWL ASSEMBLY

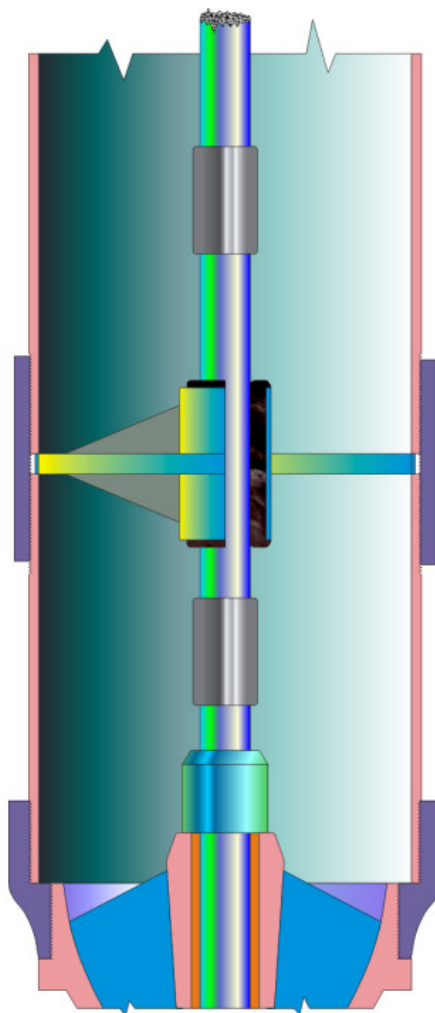
This is a typical cross sectional drawing and may not include exactly what is supplied.

Item No.	Part Description	Material
2	Impeller	Bronze
6	Shaft, Pump	416ss
8	Ring, Wear, Impeller (optional)	Bronze
15	Bowl, Discharge, Threaded	Cast Iron
39A	Sleeve, Bearing	Bronze
39C	Sleeve, Bearing	Bronze
39D	Sleeve, Bearing	Bronze
39E	Sleeve, Bearing	Bronze
39F	Sleeve, Bearing	Neoprene
39G	Sleeve, Bearing	Bronze
39H	Sleeve, Bearing	Bronze
55	Bell, Suction	Cast Iron
55A	Screw, Hex. Head Cap	Steel
64A	Collar, Protecting	Steel
64B	Screw, Set	S. Steel
64C	Collar, Protecting	Steel
64D	Screw, Set	S. Steel
70	Coupling, Shaft	Steel
84	Collet, Impeller Lock	Steel
197	Case, Discharge	Cast Iron
199	Bowl, Intermediate	Cast Iron
199A	Screw, Hex. Head Cap	Steel
213A	Ring, Bowl, Lateral Seal	Neoprene
213B	Ring, Wear, Bowl (optional)	Bronze

Project :	Capacity: 10 (L/s)	Frame/Model: 256TP
Customer:	Total Head: 105,5 (m)	Elec. Spec.: Ph.
Item No.: 1	Pump Speed: 1770 (RPM)	Service Factor:
Quote No. : US-4299-149	Impeller Dia.: 5,20 (inch)	Rotation: counter-clockwise
Pump Model: Peerless Vertical - 7LB	Power: 20 (hp)	Enclosure/Type:



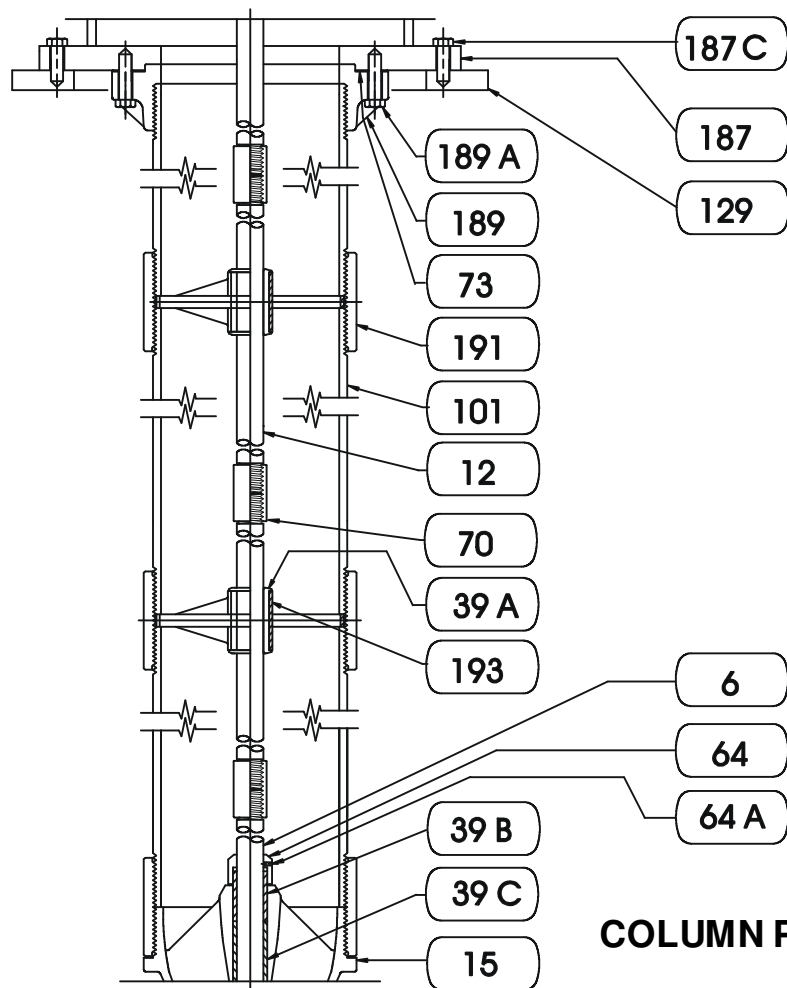
Date : Tuesday, 02 de September de 2014
Page No : 7



Project :	Capacity: 10 (L/s)	Frame/Model: 256TP
Customer:	Total Head: 105,5 (m)	Elec. Spec.: Ph.
Item No.: 1	Pump Speed: 1770 (RPM)	Service Factor:
Quote No. : US-4299-149	Impeller Dia.: 5,20 (inch)	Rotation: counter-clockwise
Pump Model: Peerless Vertical - 7LB	Power: 20 (hp)	Enclosure/Type:



Date : Tuesday, 02 de September de 2014
Page No : 8



Item No.	Part Description	Material
6	Shaft, Pump	416ss
12	Shaft, Line	416ss
15	Bowl, Discharge	Cast Iron
39A	Sleeve, Bearing	Bronze
39B	Sleeve, Bearing	Bronze
39C	Sleeve, Bearing	Bronze
64	Collar, Protecting	Steel
64A	Screw, Set	Steel
70	Coupling, Shaft	Steel
73	Gasket	Vellumoid
101	Column Pipe	Steel
129	Sole Plate	Steel
187	Head, Discharge	Cast Iron
187C	Screw, Hex. Head Cap	Steel
189	Flange, Top Column	Cast Iron
189A	Screw, Hex. Head Cap	Steel
191	Coupling, Column Pipe	Steel
193	Retainer, Bearing	Bronze

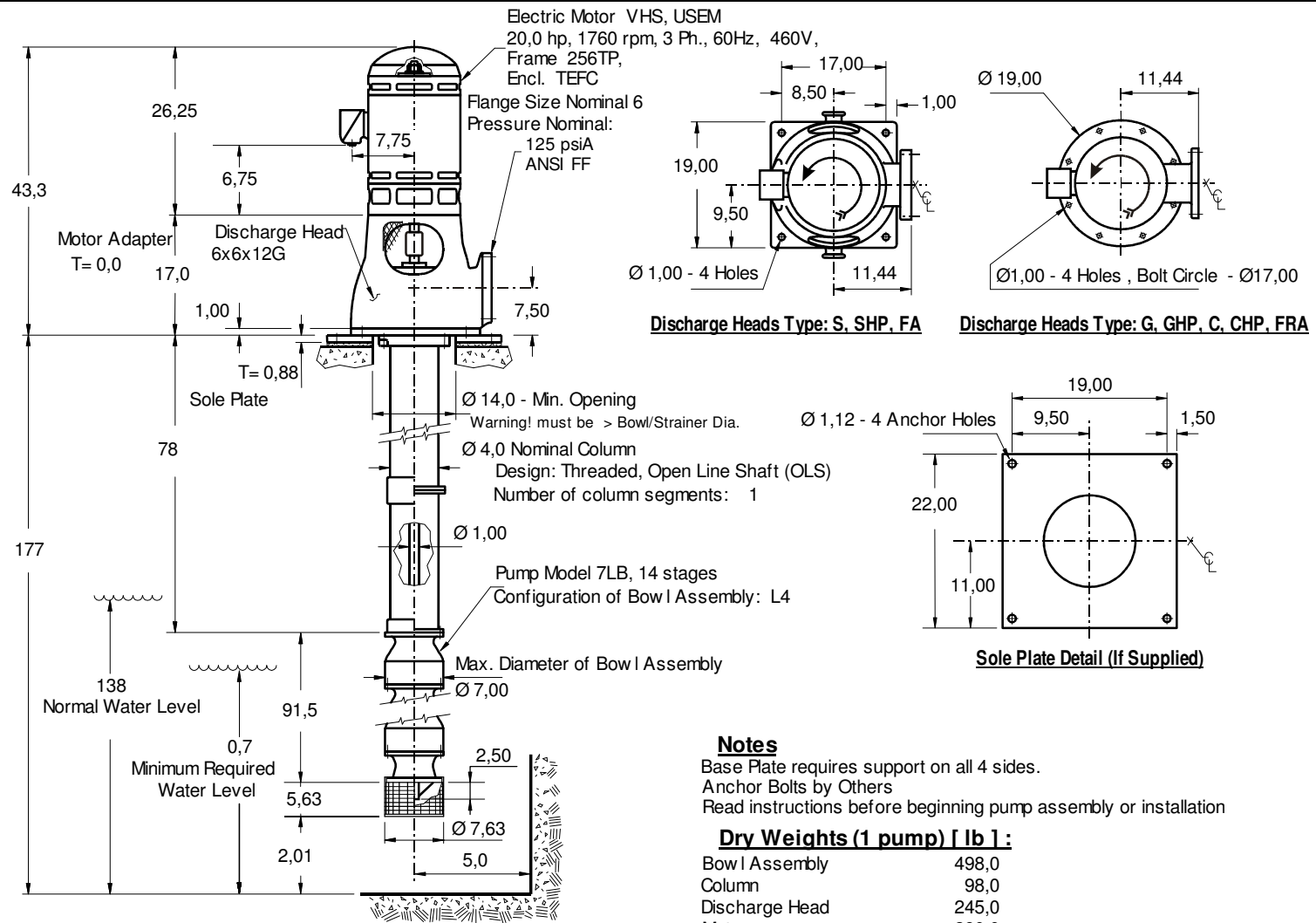
COLUMN PIPE ASSEMBLY THREADED CONSTRUCTION

This is a typical cross sectional drawing and may not include exactly what is supplied.

Project :	Capacity: 10 (L/s)	Frame/Model: 256TP
Customer:	Total Head: 105,5 (m)	Elec. Spec.: Ph.
Item No.: 1	Pump Speed: 1770 (RPM)	Service Factor:
Quote No. : US-4299-149	Impeller Dia.: 5,20 (inch)	Rotation: counter-clockwise
Pump Model: Peerless Vertical - 7LB	Power: 20 (hp)	Enclosure/Type:



Date : Tuesday, 02 de September de 2014
Page No : 9



Dimensions in (inch)

Project :	Capacity: 10 (L/s)	Frame/Model: 256TP
Customer:	Total Head: 105,5 (m)	Elec. Spec.: Ph.
Item No.: 1	Pump Speed: 1770 (RPM)	Service Factor:
Quote No. : US-4299-149	Impeller Dia.: 5,20 (inch)	Rotation: counter-clockwise
Pump Model: Peerless Vertical - 7LB	Power: 20 (hp)	Enclosure/Type:



Date : Tuesday, 02 de September de 2014
Page No : 10



ANEXOS 2.2 - BOMBA ALTERNATIVA 2



Customer :

Project :
Quote No. : US-4299-149

Page No : 1

Contact :
Phone :
Date : Tuesday, 02 de September de 2014

Fax :

TECHNICAL CHECK FAILURES
* MANDATORY SELECTION

Item: 1
Model : Peerless Vertical - 9LA

Flow (L/s)	Head (m)	Eff. (%)	Power (hp)	Speed (RPM)
20	96	78,1	33,1	1770
Liquid	Temp. (°F)	Sp. Gravity	Visc. (cSt)	Dia. (inch)
Water	68	1,000	1,007	6,69

Summary Quotation:

Item No	Description	Weight (lb)	Qty
1	9LA, 10 Stage Bowl Assembly, Material Group A , Threaded Column 5/1,19, L4, Suction Bell, Threaded Discharge Bowl, OLS	0	1
2	Impeller, full diameter, surface finish Ra75, vane exit x1,5	0	1
3	Impeller, trimmed, surface finish Ra75, vane exit Std. Fig 1-0.250x1,5	0	9
4	Adapter, Bottom Column	0	1
5	Top Bowl	75	1
6	Bowl, Intermediate	675	9
7	Collar, Sand, upper	0	1
8	Collar, Sand, lower	0	1
9	Bushing, Taper Lock (Collet) - Material Steel, 1215 CD	0	10
10	Fastener, Bowl, Standard Material	0	80
11	Charge for Polishing (Premium Efficiency)	0	10
12	Ring, Seal, Lateral	0	10
13	Suction	189	1
14	Plug, Pipe (Suction)	0	1
15	Shaft, Pump, D = 1,19 inch, L = 93,3 inch, T.Lock, Material 416ss	0	1
16	OLS Threaded column 5,0 inch / 1,19 inch shaft / 10ft bearing spacing, length base to bowl 83 inch	0	1
17	Pipe, column threaded TBE 5,0 inch, top, code length to base 83 inch, Material plain steel	108	1
18	No Shaft critical speed analysis	0	1
19	Shaft-Group of Column	0	1
20	Shaft, line, top, threaded , <2-Piece-Top-Shaft> , D= 1,19 inch, L= 87,00 inch, Material 416ss	27	1





Customer :

Project :

Quote No. : US-4299-149

Page No : 2

Contact :

Phone :

Date :

Fax :

Tuesday, 02 de September de 2014

21	Shaft, Head (Top shaft for VHS motor), < 2-Piece-Top-Shaft>, Assembly	0	1
22	Coupling, Shaft, Line, Top, Standard, Material Steel, 1215 CD	1	1
23	Shaft, Head, VHS motor, D= 1,19 inch, L= 34,00 inch, Mat. 416ss	11	1
24	Shaft, Line, Diameter 1,19 inch, Material 416ss	0	1
25	Stuffing Box, high pressure, Register 3,875, Assembly	0	1
26	Stuffing box	0	1
27	Stud, Seal Flange	0	4
28	Nut, Hex Seal Flange	0	4
29	Discharge head assembly 6x6x12G, cast iron	245	1
30	Pump operates at Constant Speed	0	1
31	Head, Discharge 6x6x12G, Motor Base Diameter BD= 12 inch	0	1
32	INFO: Dimension C (discharge head shaft stick down) = 3.000 inches	0	1
33	Name Plate, Pump Data	0	1
34	Name Plate, pp Data Screws	0	4
35	Name Plate, Warning	0	1
36	Wedge, Leveling	0	4
37	Plug 1, Discharge Head	0	1
38	Plug 3, Discharge Head	0	2
39	Plug 4, Discharge Head	0	2
40	Guard 1, high pressure, Coupling	0	1
41	Guard 2, Coupling	0	1
42	Screw, Guard	0	8
43	Washer, Guard	0	8
44	Flange, Top	0	1
45	Stud, Flange, Top, Material 304ss, Standard	0	8
46	Nut, Top Flange / Flanged Column, Material 304ss, Standard	0	8
47	Gasket, Flange, Top	0	1
48	Nut, Top	0	1
49	Screw, Nut, Top	0	2



970.

Quote valid for 30 days

Grundfos - RAPID v8.25.9.1 (Windows 7) - 06th March 2012.





Customer :

Project :
Quote No. : US-4299-149
Page No : 3
Contact :
Phone :
Date : Tuesday, 02 de September de 2014
Fax :

50	Bolt, Motor	0	4
51	Motor-electric, 40hp-1775rpm, 460/230V, 3Ph, 60Hz, Frame 324TP, VHS, Encl. TEFC, Eff. standard, Stock, TU, USEM	690	1
52	Motor Model-No: HT40S2BLG	0	1
53	Service Factor 1.15	0	1
54	Non reverse ratchet	0	1
55	Starting Method at Voltage 460V: Full Voltage (standard)	0	1
56	Dimensions of connection: Line Shaft Diameter= 1,19 inch, Motor Base Diameter BD= 12 inch	0	1
57	Plate, Sole, Material carbon steel 056	51	1
58	Bolt, Base / Sole Plate	0	4
59	Painting - Coating	0	1
60	Painting of discharge head, PEERLESS blue, enameled	0	1
61	Surface of column: assembled pump - painted PEERLESS blue, enameled; unassembled pump - black as received	0	1
62	Painting of bowl, PEERLESS blue, enameled	0	1
63	Shipping Condition: Pump ASSEMBLED	0	1
64	Factory Assembly at overall length of pump 20ft and less - actual length = 185 inch (= 15.380 ft)	0	1

Terms of Pay ment:

Shipment Terms (INCOTERM)

Estimated Schedule (week[s]):

Net Weight Total (lb):

Payment Terms:

10

2072

Total (\$): 21.068,21

Plus Applicable Taxes

Prices quoted subject to acceptance of the Company's
Terms, Conditions, Warranty and our acceptance within 30 days
from the date quoted herein.



970.

Quote valid for 30 days

Grundfos - RAPID v8.25.9.1 (Windows 7) - 06th March 2012.





Customer :

Project :

Quote No. : US-4299-149

Page No : 4

Contact :

Phone :

Fax :

Date :

Tuesday, 02 de September de 2014

Pump Model: Peerless Vertical - 9LA (1st Stage 9LA /HC) 10 Stages

Nom. Speed: 1770 RPM, 60 Hz Electric

Market : Vertical Turbine Pump

Impeller No.: T84391 / LC

Material Spec. Group: A - B: CIE; I: Brz = Standard

Item : 1

Fluid: Water

Your Ref. :

Temperature: 68 °F

Viscosity: 1,007 cSt

Sp. Gravity: 1,000 (base temp. 68 °F)

Imp. Dia. (inch)

Stage No. Trim Status D2-in x D2-out

1 9LA/HC Full P 6,69 x 6,69

----- Full 6,69 x 6,69

2 - 10 Trimmed P 6,60 x 6,60

Flow rate Q: 20 L/s

Bowl Total Head: 96 m

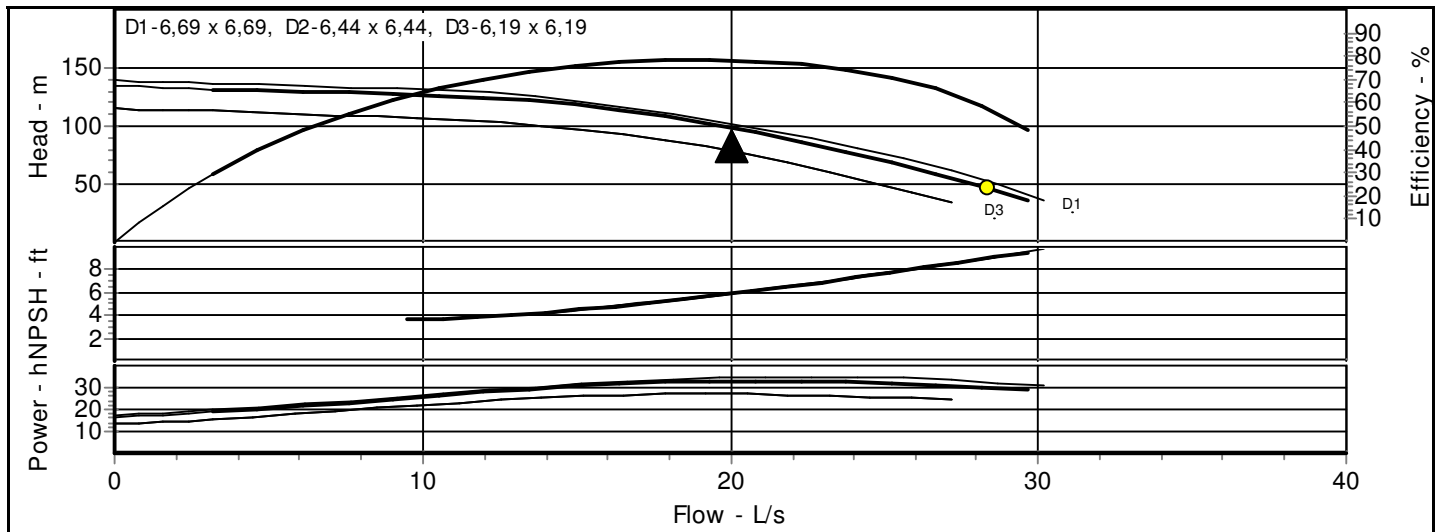
Bowl Efficiency: 78,1 %

Bowl Power Required: 33,1 hp

NPSH Required 6 ft

Performance curve according to Hyd Inst-Peerless Std

● Up-Thrust



Comments

Refer to factory for all single point bowl performance guarantees. Pumps must be selected with Hydraulic Institute-Peerless Std. See Std Hydraulic Performance document in RAPID for testing tolerances & contractual guarantees.

Flow (L/s)	Head (m)	Efficiency (%)	Power Required (hp)	NPSH Required (ft)	Thrust (lb)
0,0	134,5	0,0	16,6		2693
3,7	131,4	33,3	19,2		2569
7,4	128,7	54,7	22,9	3,7	2461
11,1	125,5	67,9	27,0	3,8	2340
14,8	118,4	75,4	30,6	4,5	2100
18,5	105,3	78,2	32,7	5,5	1653
22,2	86,6	76,5	33,0	6,7	1017
25,9	64,1	68,8	31,7	8,0	342
29,6	35,9	48,0	29,1	9,5	-100





Customer :

Project :
Quote No. : US-4299-149

Page No : 5

Contact :
Phone :
Date : Tuesday, 02 de September de 2014

Fax :

Item: 1
Model : Peerless Vertical - 9LA

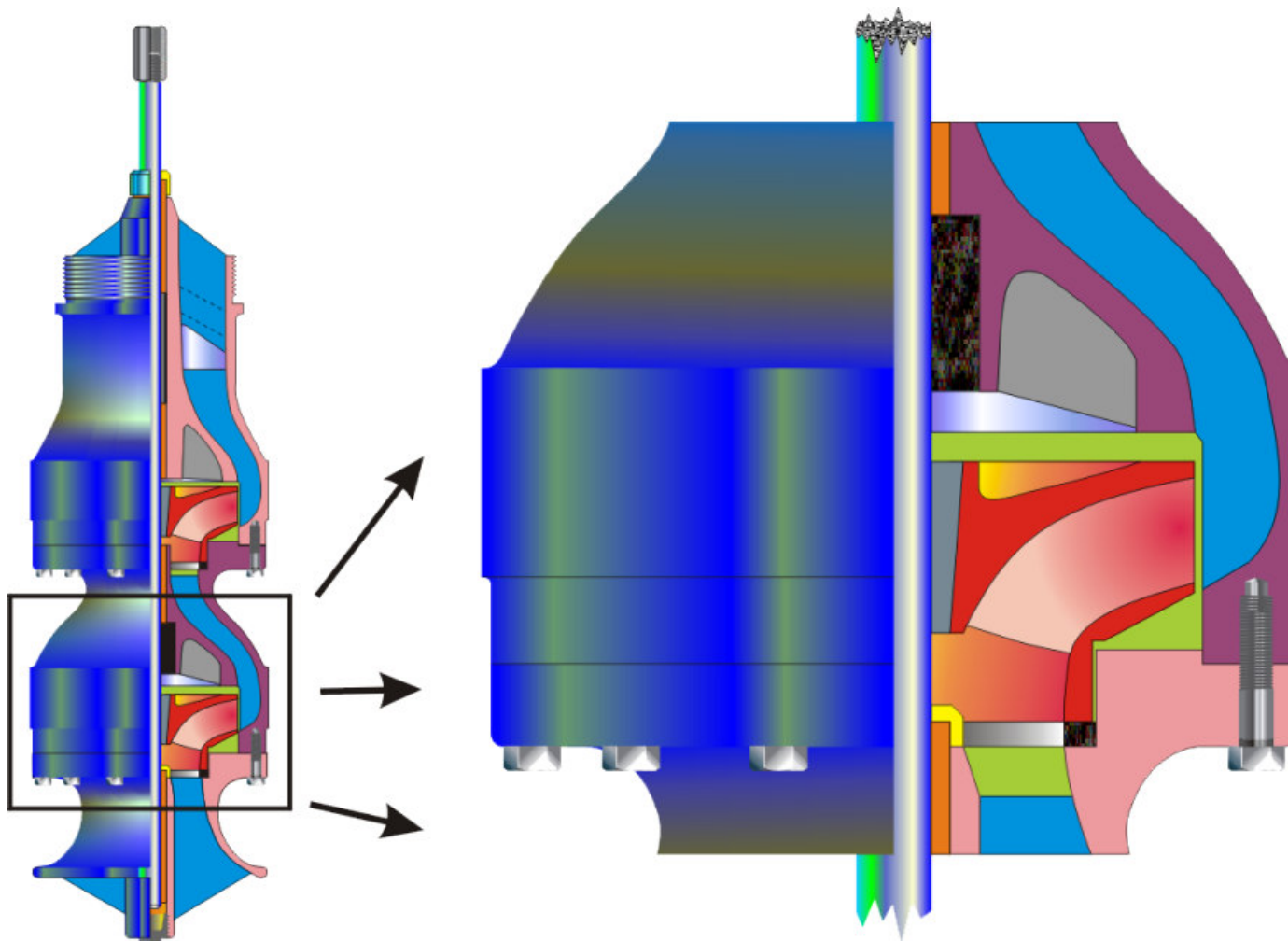
Flow (L/s)	Head (m)	Eff. (%)	Power (hp)	Speed (RPM)
20	96	78,1	33,07	1770
Liquid	Temp. (°F)	Sp. Gravity	Visc. (cSt)	Dia. (inch)
Water	68	1,000	1,007	6,69

Technical Information:

Technical Information: 9LA

Material Code of Suction	040 = Cast Iron, CL30 - ASTM A48, CLASS 30
Material Code of Case	XXX = Item not available in this configuration
Material Code of Intermediate Bowl	041 = Cast Iron, CL30 ENAMELED - ASTM A48, CLASS 30
Material Code of Top Bowl	041 = Cast Iron, CL30 ENAMELED - ASTM A48, CLASS 30
Material Code of Impeller	023 = BRONZE, ALUMINUM - ASTM B148
Maximum allowed pressure of bowl	390 psi = 26 bar
Diameter of Pump (Bowl) Shaft in inches	1,1875
Diameter of Line Shaft (Column) in inches	1,1875
Pump as Submersible?	True
Is Enclosed Line Shaft (ELS) possible?	True
Is Flanged Column possible?	True
Is Threaded Column possible?	True
Hub Stick Down in inches	0.38
Lateral setting, best in inches	0,125 9LA/HC 0.125
Lateral adjustment, standard in inches	0,594 9LA/HC 0.406
Lateral adjustment, maximum in inches	0,968 9LA/HC 0.781
Net Area of Impeller Inlet	9,032 inch ² = mm ² ; 9LA/HC 9.032
Sphere Size	0,4375 inch = 0,111 mm 9LA/HC 0.4375
Stick up of pump shaft	10,00 inch = 10,000 mm
Moment of Inertia of 1 Impeller WR ²	47,6 lbs*inch ² = kg*m ²
Moment of Inertia of rotor (all impellers + bowl shaft + line shaft) WR ²	lbs*inch ² = kg*m ²

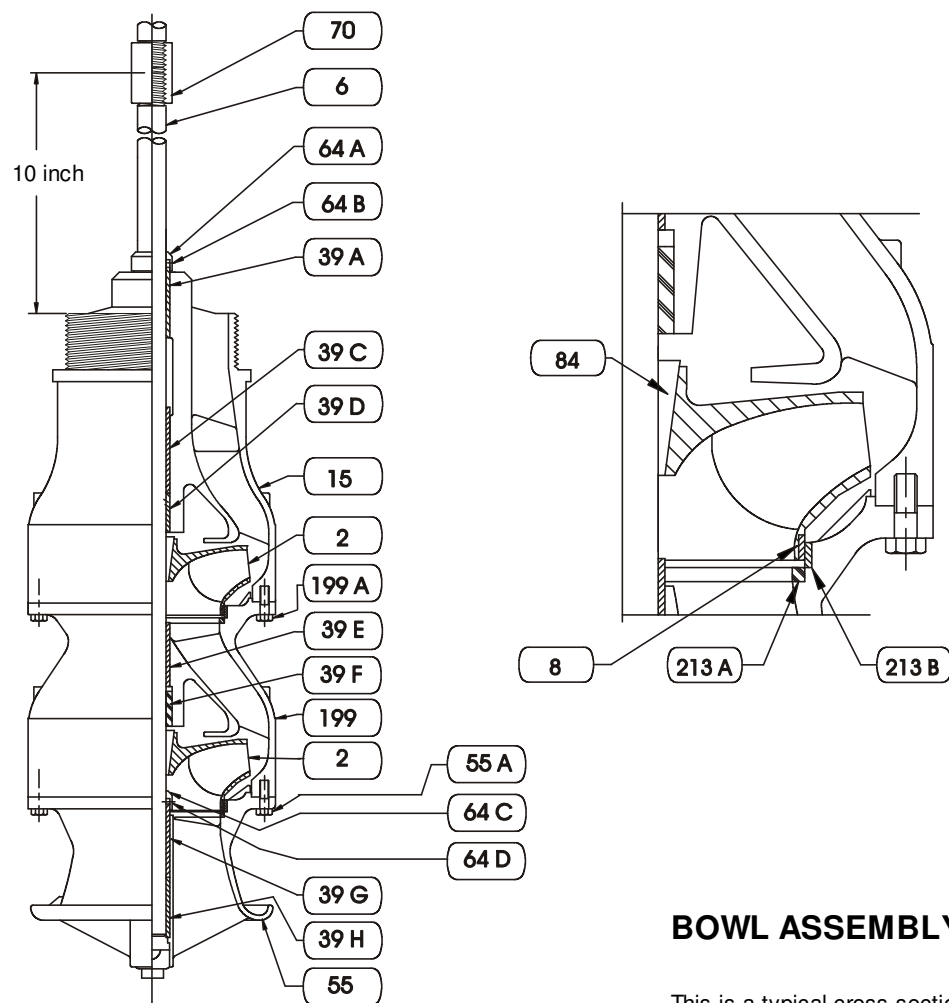




Project :	Capacity: 20 (L/s)	Frame/Model: 324TP
Customer:	Total Head: 96 (m)	Elec. Spec.: Ph.
Item No.: 1	Pump Speed: 1770 (RPM)	Service Factor:
Quote No. : US-4299-149	Impeller Dia.: 6,69 (inch)	Rotation: counter-clockwise
Pump Model: Peerless Vertical - 9LA	Power: 40 (hp)	Enclosure/Type:



Date : Tuesday, 02 de September de 2014
Page No : 6



BOWL ASSEMBLY

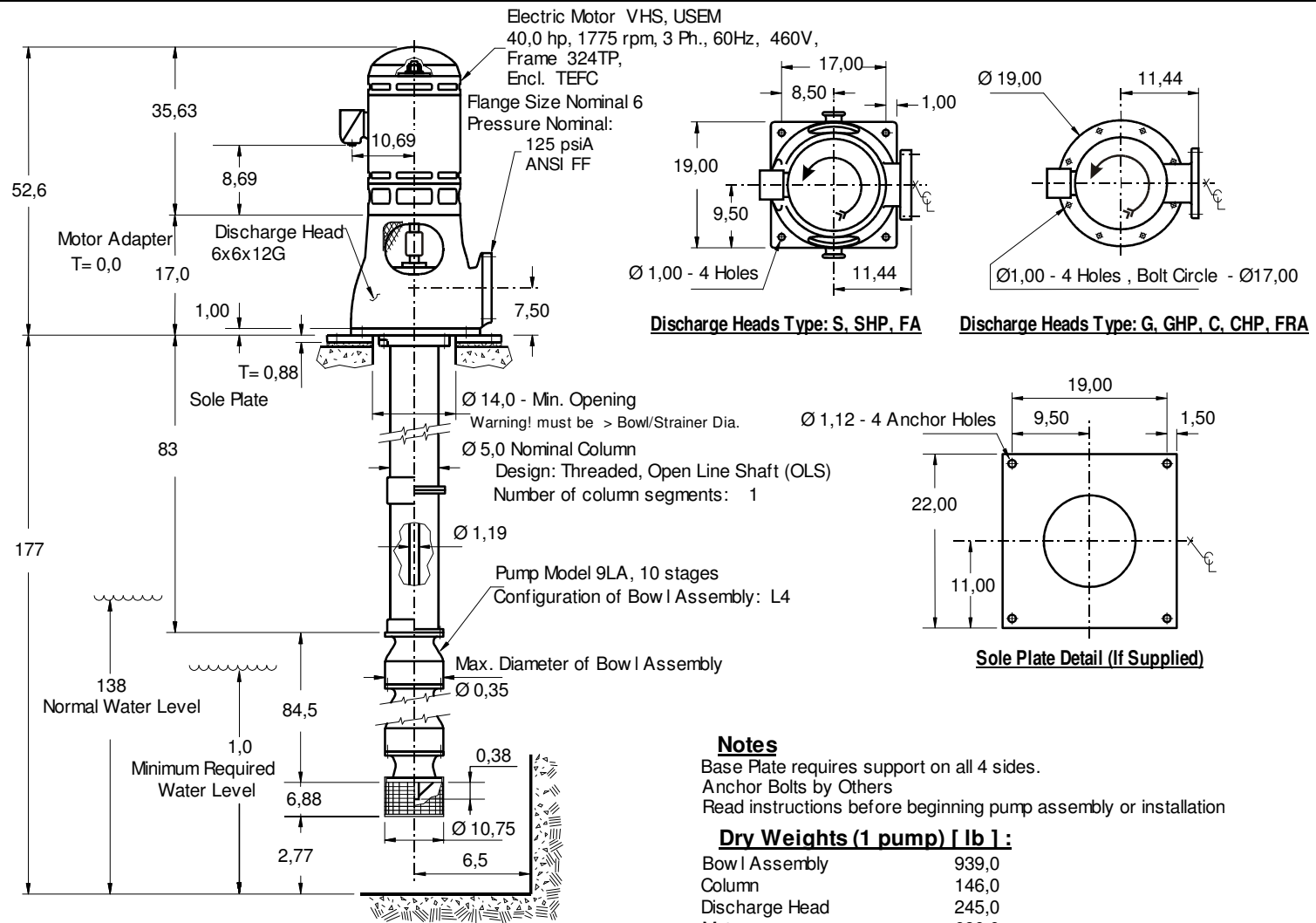
This is a typical cross sectional drawing and may not include exactly what is supplied.

Item No.	Part Description	Material
2	Impeller	Bronze
6	Shaft, Pump	416ss
8	Ring, Wear, Impeller (optional)	Bronze
15	Bowl, Discharge, Threaded	Cast Iron
39A	Sleeve, Bearing	Bronze
39C	Sleeve, Bearing	Bronze
39D	Sleeve, Bearing	Bronze
39E	Sleeve, Bearing	Bronze
39F	Sleeve, Bearing	Neoprene
39G	Sleeve, Bearing	Bronze
39H	Sleeve, Bearing	Bronze
55	Bell, Suction	Cast Iron
55A	Screw, Hex. Head Cap	Steel
64A	Collar, Protecting	Steel
64B	Screw, Set	S. Steel
64C	Collar, Protecting	Steel
64D	Screw, Set	S. Steel
70	Coupling, Shaft	Steel
84	Collet, Impeller Lock	Steel
197	Case, Discharge	Cast Iron
199	Bowl, Intermediate	Cast Iron
199A	Screw, Hex. Head Cap	Steel
213A	Ring, Bowl, Lateral Seal	Neoprene
213B	Ring, Wear, Bowl (optional)	Bronze

Project :	Capacity: 20 (L/s)	Frame/Model: 324TP
Customer:	Total Head: 96 (m)	Elec. Spec.: Ph.
Item No.: 1	Pump Speed: 1770 (RPM)	Service Factor:
Quote No. : US-4299-149	Impeller Dia.: 6,69 (inch)	Rotation: counter-clockwise
Pump Model: Peerless Vertical - 9LA	Power: 40 (hp)	Enclosure/Type:



Date : Tuesday, 02 de September de 2014
Page No : 7



Dimensions in (inch)

Project :	Capacity: 20 (L/s)	Frame/Model: 324TP
Customer:	Total Head: 96 (m)	Elec. Spec.: Ph.
Item No.: 1	Pump Speed: 1770 (RPM)	Service Factor:
Quote No. : US-4299-149	Impeller Dia.: 6,69 (inch)	Rotation: counter-clockwise
Pump Model: Peerless Vertical - 9LA	Power: 40 (hp)	Enclosure/Type:



Date : Tuesday, 02 de September de 2014
Page No : 8



ANEXOS 2.3 - BOMBA ALTERNATIVA 3



Customer :

Project :
Quote No. : US-4299-149

Page No : 1

Contact :
Phone :
Date : Tuesday, 02 de September de 2014

Fax :

TECHNICAL CHECK FAILURES
* MANDATORY SELECTIONItem: 1
Model : Peerless Vertical - M10LB

Flow (L/s)	Head (m)	Eff. (%)	Power (hp)	Speed (RPM)
30	92	78	47,6	1770
Liquid	Temp. (°F)	Sp. Gravity	Visc. (cSt)	Dia. (inch)
Water	68	1,000	1,007	7,43

Summary Quotation:

Item No	Description	Weight (lb)	Qty
1	M10LB, 6 Stage Bowl Assembly, Material Group A , Threaded Column 6/1,19, L5, Suction Bell, Threaded Discharge Case, OLS	0	1
2	Impeller, trimmed, surface finish Ra75, vane exit Std. Fig 1-0.031x1,5	0	1
3	Impeller, full diameter, surface finish Ra75, vane exit Std. Fig 1-0.031x1,5	0	5
4	Case, Discharge	158	1
5	Bowl, Intermediate	450	6
6	Collar, Sand, lower and upper	0	2
7	Bushing, Taper Lock (Collet) - Material Steel, 1215 CD	0	6
8	Fastener, Bowl, Standard Material	0	84
9	Charge for Polishing (Premium Efficiency)	0	6
10	Full Impeller Diameter Discount	0	5
11	Ring, Seal, Lateral	0	6
12	Suction	189	1
13	Plug, Pipe (Suction)	0	1
14	Shaft, Pump, D = 1,19 inch, L = 71,8 inch, T.Lock, Material 416ss	0	1
15	Coupling, Threaded, Shaft, Steel, 1215 CD	1	1
16	OLS Threaded column 6,0 inch / 1,19 inch shaft / 10ft bearing spacing, length base to bowl 107 inch	0	1
17	Pipe, column threaded TBE 6,0 inch, top, code length to base 107 inch, Material plain steel	176	1
18	No Shaft critical speed analysis	0	1
19	Shaft-Group of Column	0	1
20	Shaft, line, top, threaded , <2-Piece-Top-Shaft> , D= 1,19 inch, L= 111,00 inch, Material 416ss	34	1



970.

Quote valid for 30 days

Grundfos - RAPID v8.25.9.1 (Windows 7) - 06th March 2012.





Customer :

Project :
Quote No. : US-4299-149
Page No : 2
Contact :
Phone :
Date : Tuesday, 02 de September de 2014
Fax :

21	Shaft, Head (Top shaft for VHS motor), <2-Piece-Top-Shaft>, Assembly	0	1
22	Coupling, Shaft, Line, Top, Standard, Material Steel, 1215 CD	1	1
23	Shaft, Head, VHS motor, D= 1,19 inch, L= 34,00 inch, Mat. 416ss	11	1
24	Shaft, Line, Diameter 1,19 inch, Material 416ss	0	1
25	Stuffing Box, Register 3,875, Assembly	0	1
26	Stuffing box	0	1
27	Stud, Seal Flange	0	4
28	Nut, Hex Seal Flange	0	4
29	Discharge head assembly 6x6x12G, cast iron	245	1
30	Pump operates at Constant Speed	0	1
31	Head, Discharge 6x6x12G, Motor Base Diameter BD= 12 inch	0	1
32	INFO: Dimension C (discharge head shaft stick down) = 3.000 inches	0	1
33	Name Plate, Pump Data	0	1
34	Name Plate, pp Data Screws	0	4
35	Name Plate, Warning	0	1
36	Wedge, Leveling	0	4
37	Plug 1, Discharge Head	0	1
38	Plug 3, Discharge Head	0	2
39	Plug 4, Discharge Head	0	2
40	Guard 1, Coupling	0	1
41	Guard 2, Coupling	0	1
42	Screw, Guard	0	8
43	Washer, Guard	0	8
44	Flange, Top	0	1
45	Stud, Flange, Top, Material 304ss, Standard	0	8
46	Nut, Top Flange / Flanged Column, Material 304ss, Standard	0	8
47	Gasket, Flange, Top	0	1
48	Nut, Top	0	1
49	Screw, Nut, Top	0	2



970.

Quote valid for 30 days

Grundfos - RAPID v8.25.9.1 (Windows 7) - 06th March 2012.





Customer :

Project :
Quote No. : US-4299-149 Page No : 3 Contact :
Phone : Fax :
Date : Tuesday, 02 de September de 2014

50	Bolt, Motor	0	4
51	Motor-electric, 50hp-1775rpm, 460/230V, 3Ph, 60Hz, Frame 326TP, VHS, Encl. TEFC, Eff. standard, Stock, TU, USEM	720	1
52	Motor Model-No: HT50S2BLG	0	1
53	INFO: Pump utilizes Service Factor 1.15. Peak HP of pump is 1,069 x Name Plate HP of motor	0	1
54	Service Factor 1.15	0	1
55	Non reverse ratchet	0	1
56	Starting Method at Voltage 460V: Full Voltage (standard)	0	1
57	Dimensions of connection: Line Shaft Diameter= 1,19 inch, Motor Base Diameter BD= 12 inch	0	1
58	Plate, Sole, Material carbon steel 056	51	1
59	Bolt, Base / Sole Plate	0	4
60	Painting - Coating	0	1
61	Painting of discharge head, PEERLESS blue, enameled	0	1
62	Surface of column: assembled pump - painted PEERLESS blue, enameled; unassembled pump - black as received	0	1
63	Painting of bowl, PEERLESS blue, enameled	0	1
64	Shipping Condition: Pump ASSEMBLED	0	1
65	Factory Assembly at overall length of pump 25ft and less - actual length = 185 inch (= 15.390 ft)	0	1

Terms of Payment:

Shipment Terms (INCOTERM)

Estimated Schedule (week[s]):

Net Weight Total (lb):

Payment Terms:

10

2037

Total (\$): 17.356,57

Plus Applicable Taxes

Prices quoted subject to acceptance of the Company's
Terms, Conditions, Warranty and our acceptance within 30 days
from the date quoted herein.



970.

Quote valid for 30 days

Grundfos - RAPID v8.25.9.1 (Windows 7) - 06th March 2012.





Customer :

Project :
Quote No. : US-4299-149

Page No : 4

Contact :
Phone :
Date : Tuesday, 02 de September de 2014

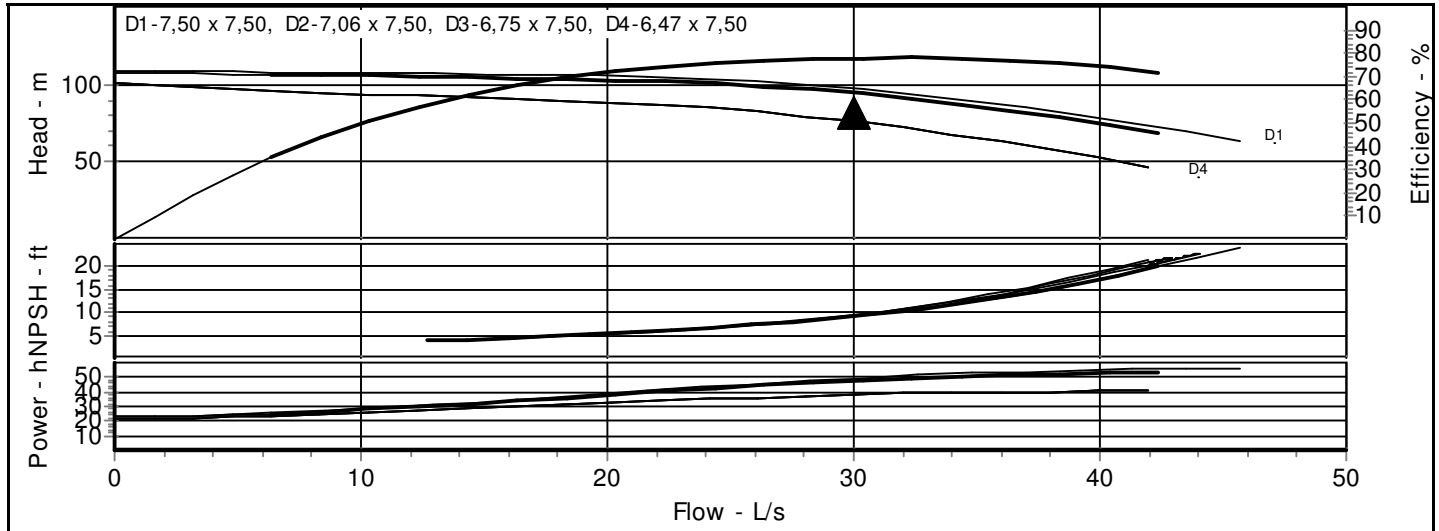
Pump Model: Peerless Vertical - M10LB 6 Stages
Nom. Speed: 1770 RPM, 60 Hz Electric
Market : Vertical Turbine Pump
Impeller No.: 4605684 / HC
Material Spec. Group: A - B: CIE; I: Brz = Standard

Item : 1 Fluid: Water
Your Ref. :
Temperature: 68 °F
Viscosity: 1,007 cSt
Sp. Gravity: 1,000 (base temp. 68 °F)

Stage No.	Trim Status	Imp. Dia. (inch) D2-in x D2-out
-----	Full	-----
1 - 5	Full P	7,50 x 7,50
6	Trimmed P	6,61 x 7,50

Flow rate Q: 30 L/s
Bowl Total Head: 92 m
Bowl Efficiency: 78 %
Bowl Power Required: 47,6 hp
NPSH Required 9 ft

Performance curve according to Hyd Inst-Peerless Std



Comments

Refer to factory for all single point bowl performance guarantees. Pumps must be selected with Hydraulic Institute-Peerless Std. See Std Hydraulic Performance document in RAPID for testing tolerances & contractual guarantees.

Flow (L/s)	Head (m)	Efficiency (%)	Power Required (hp)	NPSH Required (ft)	Thrust (lb)
0,0	107,3	0,0	22,7		2050
5,3	106,6	30,1	24,6		1884
10,6	105,4	51,9	28,3		1760
15,9	104,2	65,5	33,2	4,3	1583
21,2	102,4	73,1	39,0	5,7	1385
26,5	98,5	77,0	44,5	7,5	1204
31,8	91,6	78,1	48,9	10,1	1041
37,1	81,5	76,5	51,9	14,2	858
42,4	68,9	71,7	53,5	20,1	643





Customer :

Project :
Quote No. : US-4299-149

Page No : 5

Contact :
Phone :
Date : Tuesday, 02 de September de 2014

Fax :

Item: 1
Model : Peerless Vertical - M10LB

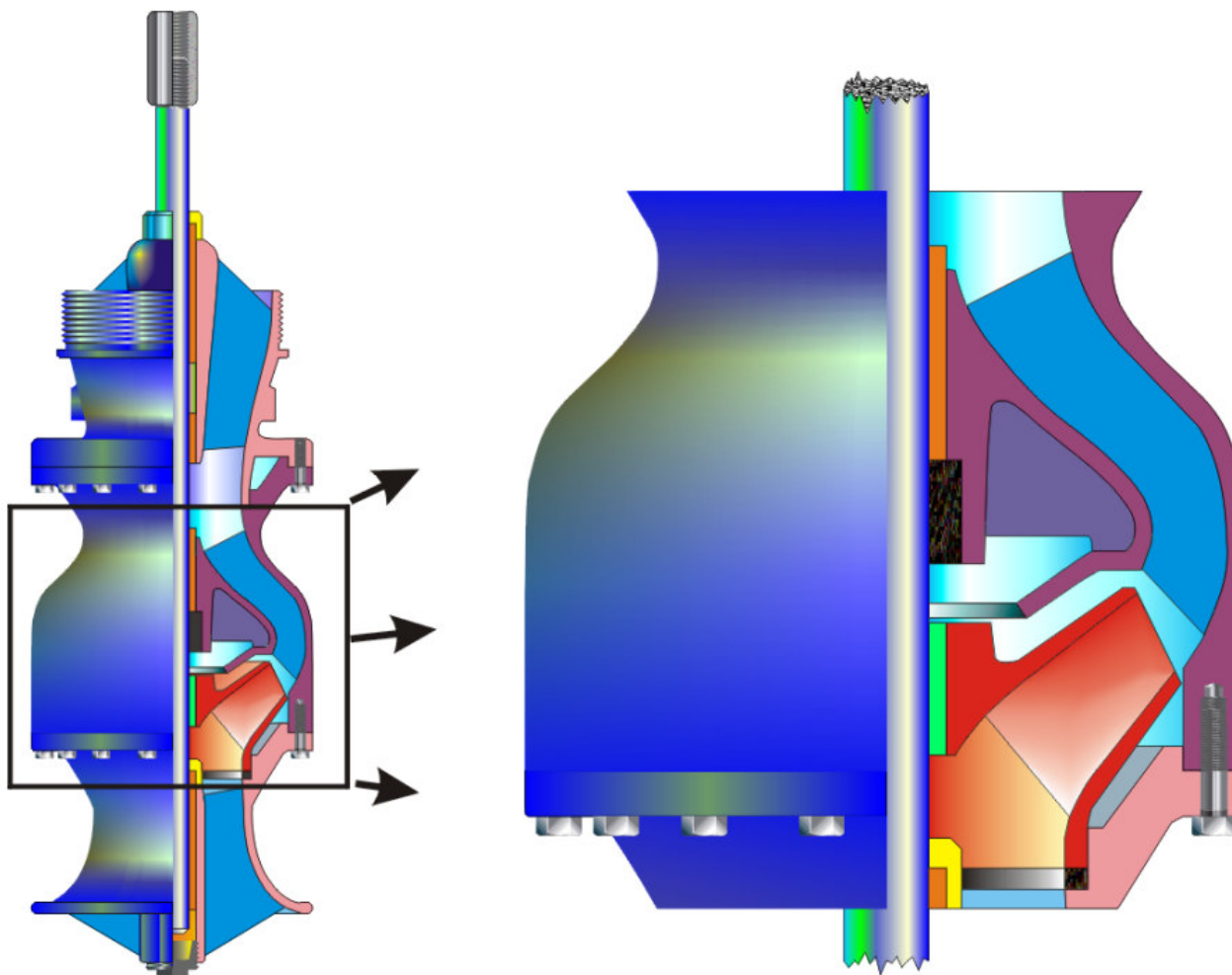
Flow (L/s)	Head (m)	Eff. (%)	Power (hp)	Speed (RPM)
30	92	78	47,62	1770
Liquid	Temp. (°F)	Sp. Gravity	Visc. (cSt)	Dia. (inch)
Water	68	1,000	1,007	7,43

Technical Information:

Technical Information: M10LB

Material Code of Suction	040 = Cast Iron, CL30 - ASTM A48, CLASS 30
Material Code of Case	040 = Cast Iron, CL30 - ASTM A48, CLASS 30
Material Code of Intermediate Bowl	041 = Cast Iron, CL30 ENAMELED - ASTM A48, CLASS 30
Material Code of Top Bowl	041 = Cast Iron, CL30 ENAMELED - ASTM A48, CLASS 30
Material Code of Impeller	023 = BRONZE, ALUMINUM - ASTM B148
Maximum allowed pressure of bowl	325 psi = 22 bar
Diameter of Pump (Bowl) Shaft in inches	1,1875
Diameter of Line Shaft (Column) in inches	1,1875
Pump as Submersible?	False
Is Enclosed Line Shaft (ELS) possible?	True
Is Flanged Column possible?	True
Is Threaded Column possible?	True
Hub Stick Down in inches	2.88
Lateral setting, best in inches	0,125
Lateral adjustment, standard in inches	0,313
Lateral adjustment, maximum in inches	0,688
Net Area of Impeller Inlet	9,572 inch ² = mm ² ;
Sphere Size	0,375 inch = 0,953 mm
Stick up of pump shaft	10,00 inch = 10,000 mm
Moment of Inertia of 1 Impeller WR ²	76,8 lbs*inch ² = kg*m ²
Moment of Inertia of rotor (all impellers + bowl shaft + line shaft) WR ²	lbs*inch ² = kg*m ²

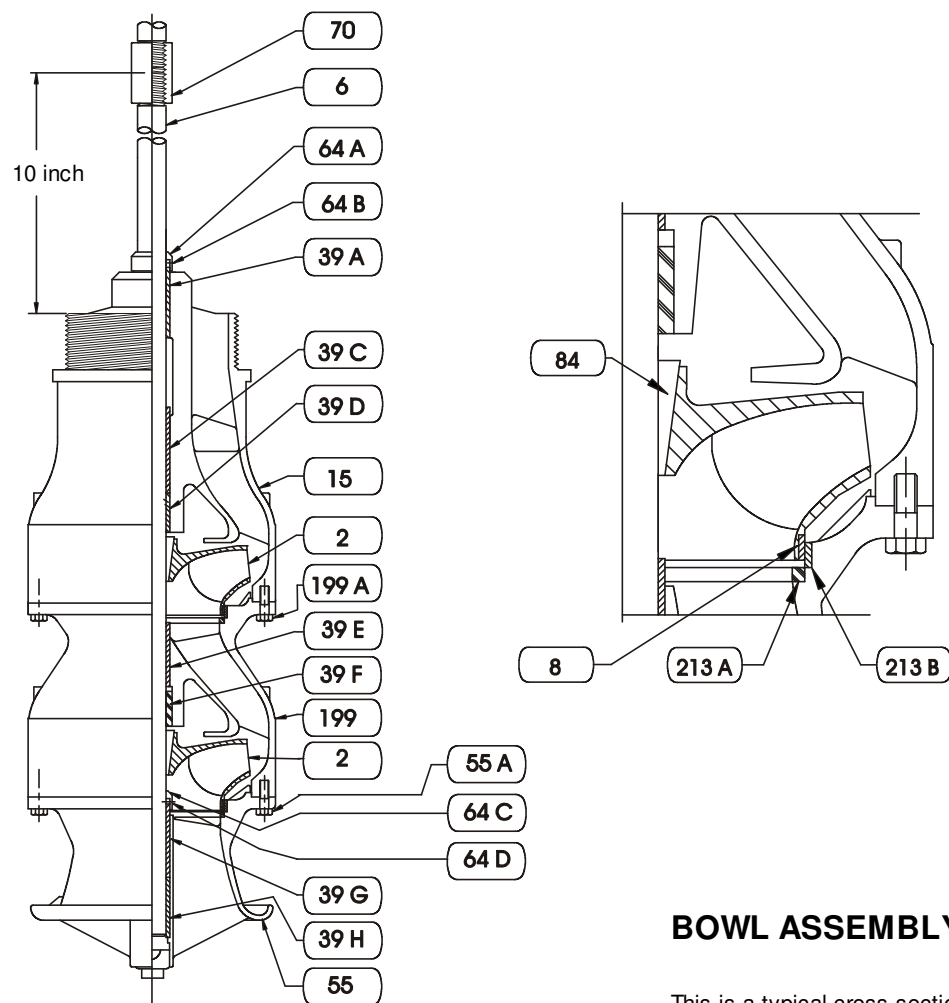




Project :	Capacity: 30 (L/s)	Frame/Model: 326TP
Customer:	Total Head: 92 (m)	Elec. Spec.: Ph.
Item No.: 1	Pump Speed: 1770 (RPM)	Service Factor:
Quote No. : US-4299-149	Impeller Dia.: 7,43 (inch)	Rotation: counter-clockwise
Pump Model: Peerless Vertical - M10LB	Power: 50 (hp)	Enclosure/Type:



Date : Tuesday, 02 de September de 2014
Page No : 6



Item No.	Part Description	Material
2	Impeller	Bronze
6	Shaft, Pump	416ss
8	Ring, Wear, Impeller (optional)	Bronze
15	Bowl, Discharge, Threaded	Cast Iron
39A	Sleeve, Bearing	Bronze
39C	Sleeve, Bearing	Bronze
39D	Sleeve, Bearing	Bronze
39E	Sleeve, Bearing	Bronze
39F	Sleeve, Bearing	Neoprene
39G	Sleeve, Bearing	Bronze
39H	Sleeve, Bearing	Bronze
55	Bell, Suction	Cast Iron
55A	Screw, Hex. Head Cap	Steel
64A	Collar, Protecting	Steel
64B	Screw, Set	S. Steel
64C	Collar, Protecting	Steel
64D	Screw, Set	S. Steel
70	Coupling, Shaft	Steel
84	Collet, Impeller Lock	Steel
197	Case, Discharge	Cast Iron
199	Bowl, Intermediate	Cast Iron
199A	Screw, Hex. Head Cap	Steel
213A	Ring, Bowl, Lateral Seal	Neoprene
213B	Ring, Wear, Bowl (optional)	Bronze

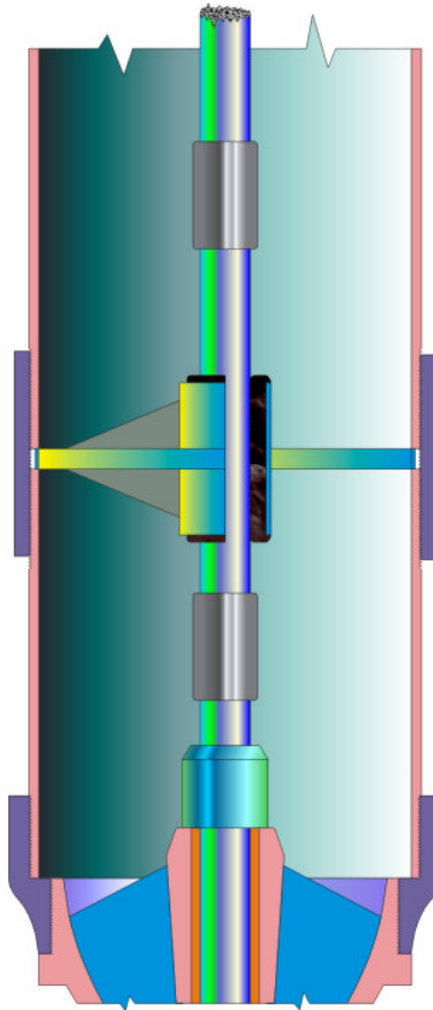
BOWL ASSEMBLY

This is a typical cross sectional drawing and may not include exactly what is supplied.

Project :	Capacity: 30 (L/s)	Frame/Model: 326TP
Customer:	Total Head: 92 (m)	Elec. Spec.: Ph.
Item No.: 1	Pump Speed: 1770 (RPM)	Service Factor:
Quote No. : US-4299-149	Impeller Dia.: 7,43 (inch)	Rotation: counter-clockwise
Pump Model: Peerless Vertical - M10LB	Power: 50 (hp)	Enclosure/Type:



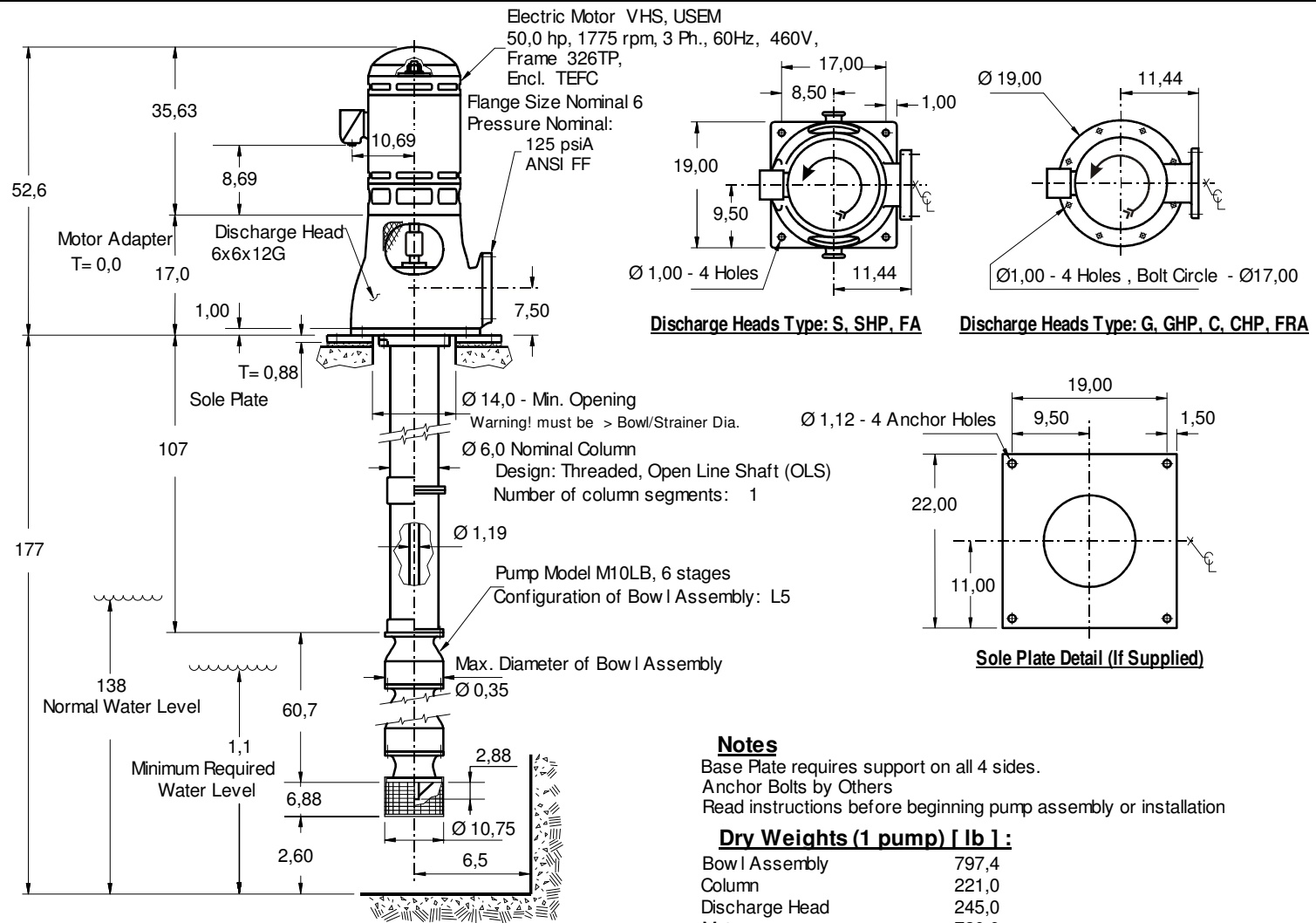
Date : Tuesday, 02 de September de 2014
Page No : 7



Project :	Capacity: 30 (L/s)	Frame/Model: 326TP
Customer:	Total Head: 92 (m)	Elec. Spec.: Ph.
Item No.: 1	Pump Speed: 1770 (RPM)	Service Factor:
Quote No. : US-4299-149	Impeller Dia.: 7,43 (inch)	Rotation: counter-clockwise
Pump Model: Peerless Vertical - M10LB	Power: 50 (hp)	Enclosure/Type:



Date : Tuesday, 02 de September de 2014
Page No : 8



Dimensions in (inch)

Project :	Capacity: 30 (L/s)	Frame/Model: 326TP
Customer:	Total Head: 92 (m)	Elec. Spec.: Ph.
Item No.: 1	Pump Speed: 1770 (RPM)	Service Factor:
Quote No. : US-4299-149	Impeller Dia.: 7,43 (inch)	Rotation: counter-clockwise
Pump Model: Peerless Vertical - M10LB	Power: 50 (hp)	Enclosure/Type:



Date : Tuesday, 02 de September de 2014
Page No : 9